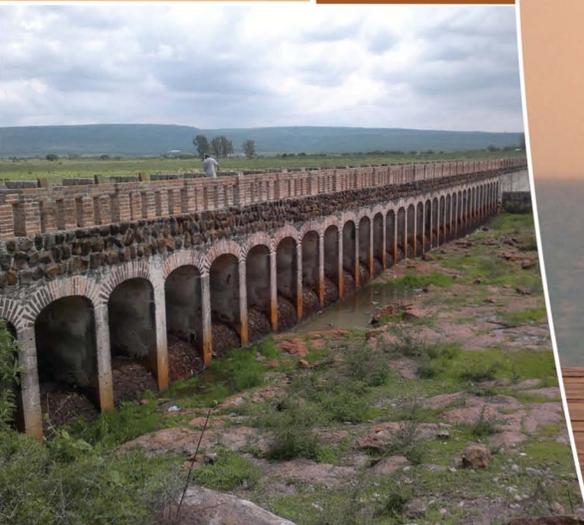




CONGRESO IMTA 2013

Editor: Víctor Bourguett

Comité Editorial: Velitchko Tzatchkov, Alejandro Sainz,
Sofía Garrido, Denise Soares, Anne Hansen, Alfonso Olaiz,
Javier Ramírez, Lilia Herrera y Carlos Meneses



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



CONGRESO IMTA 2013

352.2 Bourguett Ortiz, Víctor Javier
B25 Congreso IMTA 2013 / Víctor Javier Bourguett Ortiz, editor.. – Jiutepec, Mor. :
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2013.

202 pp.

ISBN 978-607-7563-92-1

1. Desarrollo institucional 2. Congresos

Coordinación editorial:
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación de Comunicación,
Participación e Información.

Subcoordinación de Vinculación, Comercialización
y Servicios Editoriales.

Primera edición: 2013.

Ilustración de portada:
© Óscar Alonso Barrón

Diseño editorial:
Gema Alín Martínez Ocampo

Diagramación y formación
Luis Enrique Nájera Zamora

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos
MÉXICO
www.imta.gob.mx

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ISBN: 978-607-7563-92-1

Colección: “Informes”

ÍNDICE

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO	8
ESTRATEGIA PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA DE CAUDAL AMBIENTAL HACIA UN ENFOQUE ADAPTATIVO AL CAMBIO CLIMÁTICO Y AL RIESGO ECOLÓGICO	15
CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN DE INSPECTORES EN MUESTREO DE DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL A CUERPOS RECEPTORES DE PROPIEDAD NACIONAL, CON BASE EN UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	22
ANÁLISIS TÉCNICO Y PRUEBAS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL MEZQUITAL, EN DIVERSOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE HIDALGO	27
BIOSTAR: DE LA INVESTIGACIÓN A LA COMERCIALIZACIÓN	38
CONTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA DE POSGRADO IMTA A LA SEGURIDAD HÍDRICA	45
PRODUCCIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA EL ESTADO DE DURANGO: PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO, Y CONTAMINANTES DEL AGUA	50
HUELLA HÍDRICA, POLÍTICAS PÚBLICAS Y SOBERANÍA ALIMENTARIA	54
ELABORACIÓN DE LOS PLANES DE GESTIÓN INTEGRAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS: CINTALAPA-LA VENTA, HUIXTLA Y SAN NICOLÁS, CHIAPAS	60
ESTUDIO JURÍDICO-TARIFARIO PARA LA ADMINISTRACIÓN DIRECTA DE OBRAS Y SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE OAXACA (ADOSAPACO)	64
IMPACTO, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE RIEGO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	70

EL PROCESO LLUVIA-ESCURRIMIENTO-EROSIÓN EN LADERAS Y MICROCUENCAS INSTRUMENTADAS, Y MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN MICROCUENCAS RURALES (KEYLINES Y COSECHA DE AGUA)	77
DESARROLLO Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA TIC-ELECTRÓNICA (GPS) PARA LA OPERACIÓN (ICAM-RIEGO) Y CONSERVACIÓN (ICAM-SISCON) DE ZONAS DE RIEGO, EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO Y EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL RIEGO PRESURIZADO	90
GASTO ÓPTIMO EN RIEGO POR MELGAS	97
LA AGRICULTURA URBANA, ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS	105
HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS LOCALIDADES	114
MANEJO INTEGRAL DEL AGUA PLUVIAL Y GENERACIÓN DE MAPAS DE PELIGRO EN LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO	120
ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LLUVIA-ESCURRIMIENTO Y CAMPAÑA DE AFOROS EN LA CUENCA TRANSFRONTERIZA DEL RÍO HONDO	126
EVALUACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN INSTALADA PARA EL MONITOREO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y SEGURIDAD DE LAS PRESAS	133
ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN LÍNEAS DE CONDUCCIÓN ABASTECIDAS POR EL ACUEDUCTO CONEJOS-MÉDANOS EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA	146
EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO DE MÉXICO	150
AUTOMATIZACIÓN PARA ELABORAR MAPAS DE ALERTAMIENTO POR FRENTE FRÍOS Y NORTES	159

MÉTODO ALTERNATIVO PARA CALCULAR LA RECARGA EN ACUÍFEROS POCO EXPLOTADOS, UTILIZANDO IMÁGENES DE SATÉLITE, MEDICIONES IN SITU Y MODELOS DIGITALES: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	164
PLANEACIÓN REGIONAL PARA LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA EN EL MEDIANO Y LARGO PLAZOS EN LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS	171
OFICINA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DEL IMTA	176
AGUA SIMPLE, TU REVISTA DIGITAL	182
METODOLOGÍA PARA EL FOMENTO DE LA PARTICIPACIÓN SOCIAL Y LA EQUIDAD DE GÉNERO EN COMUNIDADES RURALES Y PERIURBANAS	187
EL REPOSITORIO COMO INSTRUMENTO QUE MULTIPLICA LA VISIBILIDAD INSTITUCIONAL	193
EDICIÓN DE LA REVISTA <i>TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DEL AGUA</i>	198

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

N. Ramírez, A. J. García y C. Vázquez

Resumen

La necesidad de identificar posibles impactos en la calidad del agua, como consecuencia del cambio climático, generó la necesidad de desarrollar una guía metodológica que permita detectarlos. La metodología se desarrolló y utilizó en primera instancia para determinar la correlación entre la temperatura ambiente y la del agua, y a la postre para estimar la variación de la temperatura en cinco cuerpos de agua superficiales de nuestro país en el periodo 1991-2008, tomando como línea base el periodo 1975-1990. Los resultados revelan una relación estrecha entre la temperatura del agua y la temperatura del ambiente. Esta información es relevante, ya que delimita la probabilidad de que un incremento en la temperatura del agua, en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños en la calidad del agua y ser un elemento integral para la determinación de un índice de riesgo. A partir del índice de riesgo, se proponen medidas de adaptación y recomendaciones de políticas públicas encaminadas a establecer acciones globales que permitan atender los posibles efectos del cambio climático en la calidad del agua en México.

Introducción

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) advierte que los cambios son

inevitables y que las sociedades deben poner en práctica medidas de adaptación por medio de políticas de mitigación y adaptación que resalten, apoyen y recompensen las sinergias y co-beneficios, con el objetivo de tratar problemas y necesidades a corto y largo plazos. Es recomendable usar un enfoque de gestión de oportunidades/riesgos desde una perspectiva de desarrollo sostenible, teniendo en cuenta no sólo las emisiones, sino también los riesgos que están presentes en un gran abanico de posibles futuros cambios climáticos y socioeconómicos (UN-Habitat, 2011).

Entre lo que se ha investigado, existe una serie de evidencias de cambios a consecuencia del impacto del cambio climático en la calidad del agua, además de encontrar correlaciones con valores entre el 70 y 95% en cinco cuerpos de agua superficial en México que muestran una estrecha relación entre las temperaturas del agua y del ambiente. También, se encontró que la temperatura promedio del agua presenta un incremento para el periodo 1991-2008 con respecto al periodo base 1975-1990. Cuantitativamente este incremento fluctúa, en función de las características del cuerpo de agua, entre 0.7 y 1.3 °C, considerando un valor promedio aproximado de 0.9 °C (IMTA, 2011). Entre los sitios en los que se aplicó el análisis se encuentran el lago de Chapala y la laguna de Catemaco. Con la metodología validada para realizar las estimaciones, se recalculó la variación

de la temperatura en el agua por efecto de la temperatura ambiente incluyendo los datos de los años 2009, 2010 y 2011.

El estudio incluye, además, la definición y priorización de medidas de adaptación conforme al contexto local y su vulnerabilidad. Para ello se debe partir de las localidades con mayor riesgo.

Resultados

Con la metodología de análisis y evaluación desarrollada y validada, una vez completado un proceso de control de calidad de los datos y evaluada su homogeneidad, se estimó la variación de temperatura en cuerpos de agua. La estimación de variación de temperatura es diferente para cada sitio, ya que se tienen que evaluar las condiciones particulares de cada una de la serie de datos, su distribución muestral anual, mensual y proporcionalidad en los datos.

Variación entre periodos (1975-1990) y (1991-2008)

En la tabla 1 se muestra la variación de la temperatura en el agua entre periodos, considerando el promedio de los datos 1975-1990 y su diferencia con el promedio del periodo 1991-2008. Además, se observa la mayor variación de la temperatura del agua en la laguna de Catemaco. Cabe hacer notar que los datos de Catemaco están estratificados en el periodo 1990-2000 (ilustración 1), y que en el cálculo del promedio del periodo 1975-1990 se consideraron el tramo 1 y 2 de la serie. La presa El Carrizo también presentó una variación elevada, donde la mayor parte de los datos se concentraron en el periodo 1975-1990 (ilustración 2). Es importante aclarar que la estimación incluye todos los datos del sitio sin considerar la proporcionalidad y distribución muestral.

Tabla 1. Variación de la temperatura entre los periodos (1975-1990) y (1991-2008).

Sitio	Tipo	Temperatura promedio		Variación (°C)
		(1975-1990)	(1991-2008)	
Catemaco	Laguna	20,95	22,78	1,83
Chapala	Lago	22,22	23,13	0,91
Emiliano López Zamora	Presa	20,08	21,03	0,95
Derivadora Morelos	Presa	21,12	21,99	0,88
Presa "El Carrizo"	Presa	22,15	23,45	1,30

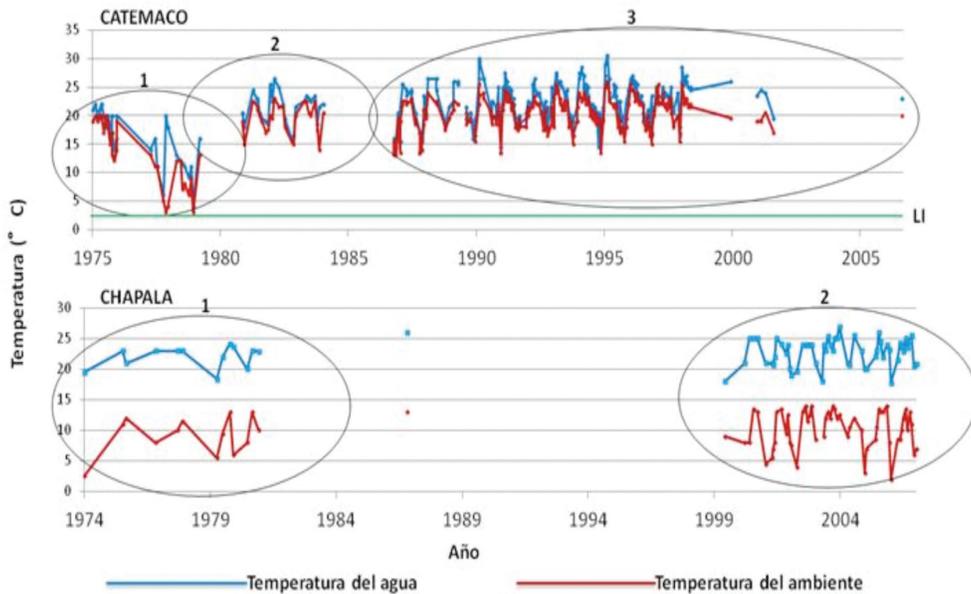


Ilustración 1. Gráficas de referencia de Catemaco y Chapala.

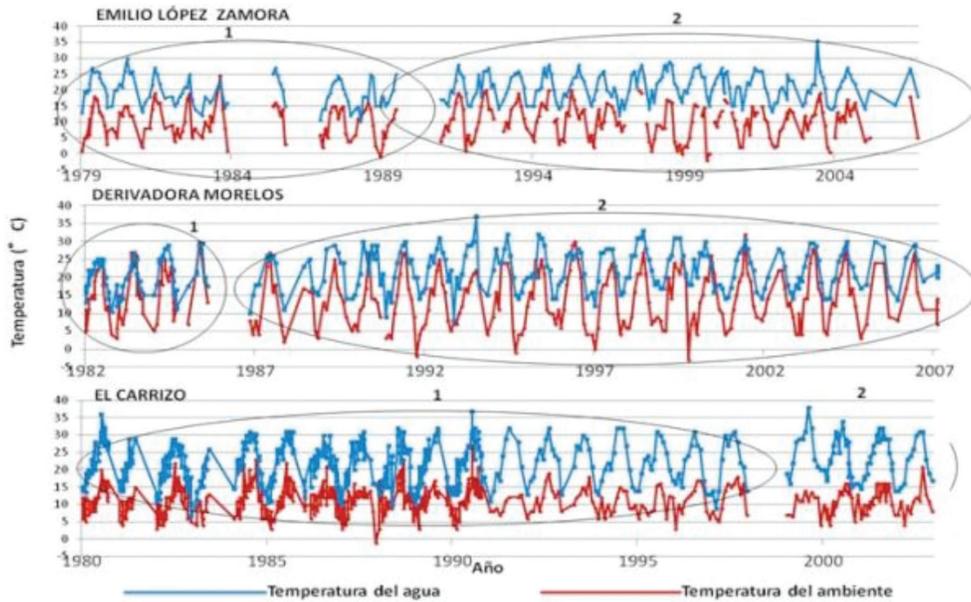


Ilustración 2. Gráficas Emilio López, Derivadora Morelos y El Carrizo.

Variación por promedios mensuales

La tabla 2 muestra la estimación de la variación de la temperatura del agua entre el promedio del periodo 1975-1990 y el promedio de promedios mensual de las series homogéneas de cada sitio. Lo anterior im-

plicó hacer un promedio mensual y realizar una gráfica de control de promedios mensuales, eliminando los meses con datos aberrantes, es decir, aquellos que están fuera de los límites de control calculados y que no tenían una distribución y proporcionalidad muestral.

Tabla 2. Variación de la temperatura entre periodo (1975-1990) y variación del promedio mensual de la serie homogénea.

Sitio	Tipo	Temperatura promedio		Variación (°C)
		(1675-1990)	* Promedio de promedio mensual	
Catemaco	Laguna	20,95	23,33	1,38
Chapala	Lago	22,22	22,94	0,72
Emiliano López Zamora	Presa	20,08	20,96	0,88
Derivadora Morelos	Presa	21,12	21,86	0,74
Presa "El Carrizo"	Presa	22,15	23,05	0,90

De los datos reportados en la tabla 2, se observa que la variación estimada mayor fue en la laguna de Catemaco, con un valor de 1.38 grados centígrados.

En el marco de la gestión integral de los recursos hídricos, se realizó la revisión de la legislación y normatividad aplicable con objeto de establecer propuestas de

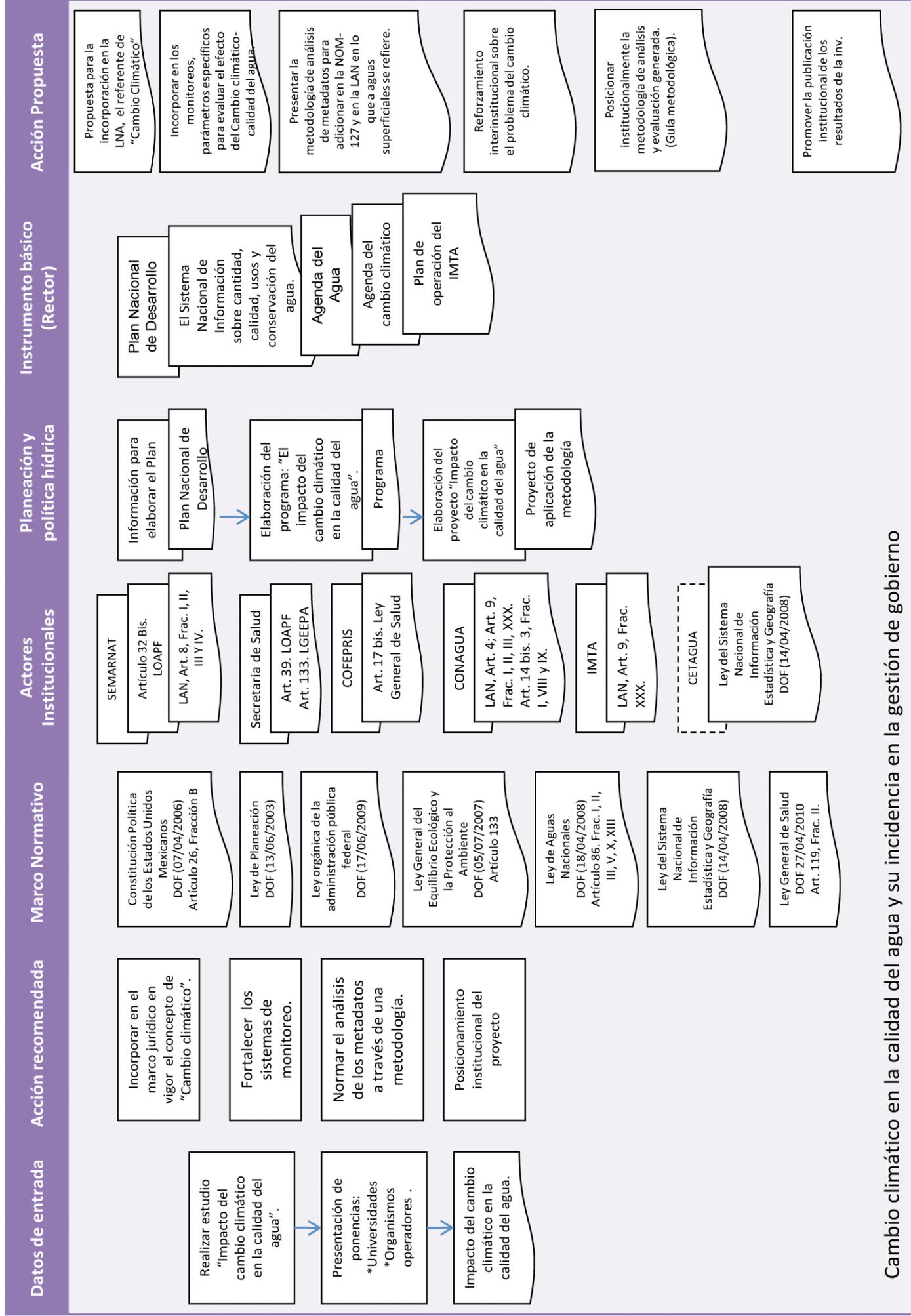
políticas públicas relacionadas con cambio climático-calidad del agua. En la ilustración tres, se presenta el resultado del análisis.

En la determinación del riesgo, se requiere cuantificar tres elementos. La ilustración 4 presenta de una manera clara el concepto de riesgo, así como los elementos para determinararlo.

AMENAZA	VULNERABILIDAD	RIESGO
<p>Fenómenos naturales.</p> <p>Probabilidad de que ocurra un evento, en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños.</p> <p>*y probabilidad de ser detectada para ser mitigada.</p>	<p>Grados de exposición y fragilidad, valor económico.</p> <p>Probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, vida humana y el ambiente.</p>	<p>$f(A, V)$.</p> <p>Probabilidad combinada entre los parámetros amenaza (A) y vulnerabilidad (V).</p>

* Adaptación propia.

Ilustración 4. Elementos para la determinación del riesgo. Fuente: CEPAL-BID, 2000.



Cambio climático en la calidad del agua y su incidencia en la gestión de gobierno

Considerando que existe un problema en el uso de la información climática y que ésta no se ha tratado como un elemento para la gestión del riesgo, creemos necesario incluir el elemento “detección” dentro del elemento “amenaza”.

Estos dos elementos, vulnerabilidad y amenaza, deben ser cuantificados para poder determinar un riesgo.

Conclusiones y recomendaciones

En el marco de la gestión integral de los recursos hídricos, se hizo el estudio Impacto del cambio climático en la calidad del agua, en el cual se identifican problemáticas muy puntuales en la medición del impacto del cambio climático en la calidad del agua. Entre ellas destacan:

1. Se requiere incorporar en los monitoreos de calidad del agua parámetros adicionales que permitan medir el efecto del cambio climático, además de oficializar una metodología oficial para ponderar los efectos.
2. Asimismo, se identificó que es necesario reforzar los monitoreos, generar los datos y construir instrumentos de análisis que permitan organizar y evaluar la información para observar los impactos.
3. Existe un vacío en las agendas del agua y del cambio climático ya que no consideran, a la fecha, la relación cambio climático-calidad del agua.
4. Ausencia en la Ley de Aguas Nacionales y en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de una metodología de análisis y evaluación de los datos.

Para hacer frente a estas problemáticas, el IMTA propone las siguientes medidas de política pública:

1. Incorporar en los monitoreos parámetros específicos para evaluar el efecto del cambio climático en la calidad del agua.
2. Incorporar en la Ley de Aguas Nacionales el referente de cambio climático.
3. Proponer la metodología de análisis de datos para añadirla a la NOM-127-SSA1-1994 y en la Ley de Aguas Nacionales, en lo que se refiere a aguas superficiales.
4. Posicionar institucionalmente la metodología de análisis y evaluación generada (guía metodológica).
5. Reforzamiento interinstitucional sobre el problema del cambio climático.

Bibliografía

- IMTA. Impacto del cambio climático en la calidad del agua en México. Jiutepec Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2011.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 de noviembre de 2012. Recuperado el 19 de noviembre de 2012, de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch2s2-4-3.html
- MUTIZWA-MANGIZA, N. D., ARIMAH, B. C., JENSEN, I., ABERA YEMERU, E., and KINYANJUI

Resumen curricular

Norma Ramírez Salinas. Licenciatura en Ingeniería Industrial, Química (1987) por el Ins-

tituto Tecnológico de Zacatepec. Maestría en Calidad (1997) por la Universidad La Salle. Especialidad en el IMTA: sistemas de gestión de la calidad para laboratorios de ensayo, y calidad del agua y cambio climático.

Javier García Lopez. Licenciatura en Ingeniería Química (2001) por la UNAM. Maestría en Ingeniería Química (2004) por la UNAM. Especialidad en el IMTA: muestreo y cambio climático.

Camilo Vázquez Bustos. Licenciatura en Ingeniería Química (2001) por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Maestría en Ciencias del Agua (2009) por el IMTA. Colaborador en los proyectos *Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector aguas residuales en México (2010-2011)* e *Impacto del cambio climático en la calidad del agua.*

ESTRATEGIA PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA DE CAUDAL AMBIENTAL HACIA UN ENFOQUE ADAPTATIVO AL CAMBIO CLIMÁTICO Y AL RIESGO ECOLÓGICO

M. A. Gómez, A. Ordoñez, M. A. Mijangos y S. Rodríguez

Resumen

Los métodos hidrológicos representan la base para determinar un régimen de caudal ecológico identificando la variabilidad histórica natural, el grado de alteración y el objetivo ambiental que conserve o mejore la condición para los ecosistemas y su aprovechamiento. Bajo el objetivo ambiental “C” para el río Apatlaco, correspondiente a una “condición moderada” de importancia ecológica y presión de uso, se identificaron los volúmenes anuales de referencia dentro de porcentajes del volumen medio anual (15 a 24%), así como entre 60 y 30% del caudal medio mensual para estiaje y lluvias. Métodos más detallados incluyeron un análisis de años secos, medios y húmedos, además de la magnitud, duración, temporalidad y frecuencia de indicadores hidrológicos y avenidas de distinto periodo de retorno relevantes para la estructura y función de los ecosistemas. Es importante que la implementación del caudal ecológico considere las variaciones hidrológicas tendenciales, la conservación de los recursos bióticos, las presiones por el uso del agua y las esperadas por los escenarios de cambio climático.

Desarrollo de la problemática y soluciones propuestas

Con el propósito de mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, y proteger y mantener la conectividad de los ecosistemas fluviales, riparios y costeros, es necesario que se garantice un régimen de caudal ecológico (Dyson et al., 2003) (Poff et al., 2010) (Richter et al., 1997). El régimen de caudal ecológico es la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales (Tharme, 2003) (NMX-AA-159-SCFI-2012).

Además, es un instrumento de la gestión fundamentado en la Norma de Caudal Ecológico NMX-AA-159-SCFI-2012, de apoyo para emitir la disponibilidad, de acuerdo con los Objetivos Ambientales (OA) que se basan en: 1) importancia ecológica, y 2) presión de uso como porcentaje de volumen asignado (tabla 1). La cuenca del río Apatlaco cuenta con siete estaciones hi-

drométricas. Para este estudio se seleccionaron tres: Tetlama, Temixco y Zacatepec (ilustración 1).

Tabla 1. Objetivos ambientales y presión de uso.

Importancia ecológica	Muy alta	A	A	B	C
	Alta	A	B	C	D
	Media	B	C	C	D
	Baja	B	C	D	D
Presión de uso		Baja	Media	Alta	Muy alta



Clave	Estaciones hidrométricas	LAT	LONG	Años de registro
18271	Temixco	18.854	-99.221	1956-2005
18264	Zacatepec	18.650	-99.196	1956-2005
18323	Tetlama	18.833	-99.279	1962-2006

Clave	Estaciones climatológicas	Años	Elev. msnm
17002	Cuernavaca, Col. Empleado	1939-2001	1560
17004	Cuernavaca, Cuernavaca	1955-2006	1529
17014	Temixco, Temixco	1957-2006	971
17022	Tres Cumbres, Huitzilac	1967-2005	2800
17026	Zacatepec	1961-2005	1226
17037	Esc. de Biología UAEM	1975-1979	1100
17042	Zacatepec, Morelos	1944-1990	1226
17047	Huitzilac, Huitzilac	1961-2007	2850
17070	Alpuyeca, Temixco	1969-2002	1033
17072	Alpuyeca, Xochitepec	1969-2002	1050
17075	Jojutla	1955-1983	1000

Ilustración 1. Mapa topográfico e hidrológico de la cuenca del río Apatlaco.

Métodos

Conforme a la NMX- AA-159-SCFI-2012 Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, se aplicaron los métodos (Tennant, 1976) modificado por (García et

al., 1999) y el Método World Wildlife Fund (WWF). Ambos señalan un volumen de reserva anual (valores de referencia) como %CMA (caudal medio anual) o %EMA (escurrimiento medio anual) conforme al OA (ilustración 2). Para el régimen estacional, el primer método considera porcentajes

del caudal medio anual y mensual (CMA-Qmi), con la consideración de un caudal mínimo o base (Cmín) en estiaje. Para el método WWF, conforme al OA, se reproducen condiciones de distintos tipos de años húmedo, medio y seco (H, M y S, respectivamente), además de considerarse la magnitud, duración y frecuencia (M, D, F) de las avenidas de retorno 1, 1.5 y 5 años dentro de un periodo de diez años para obtener un volumen final de reserva anual. El régimen de variabilidad natural (RVN) (TNC, 2009) se obtuvo por medio de un análisis no paramétrico.

Resultados

El río Apatlaco se clasificó con el OA “C”, de importancia ecológica y presión de uso “Muy altas” y en estado de conservación “Moderado”. Los volúmenes de reserva obtenidos con ambos métodos para las estaciones hidrométricas del río se presentan en la tabla 2. Los métodos detallados se aplicaron a la estación Temixco, que cuenta con mayor cantidad de datos históricos. Conforme a Tennant modificado, se muestra el caudal en m³/s (ilustración 3).

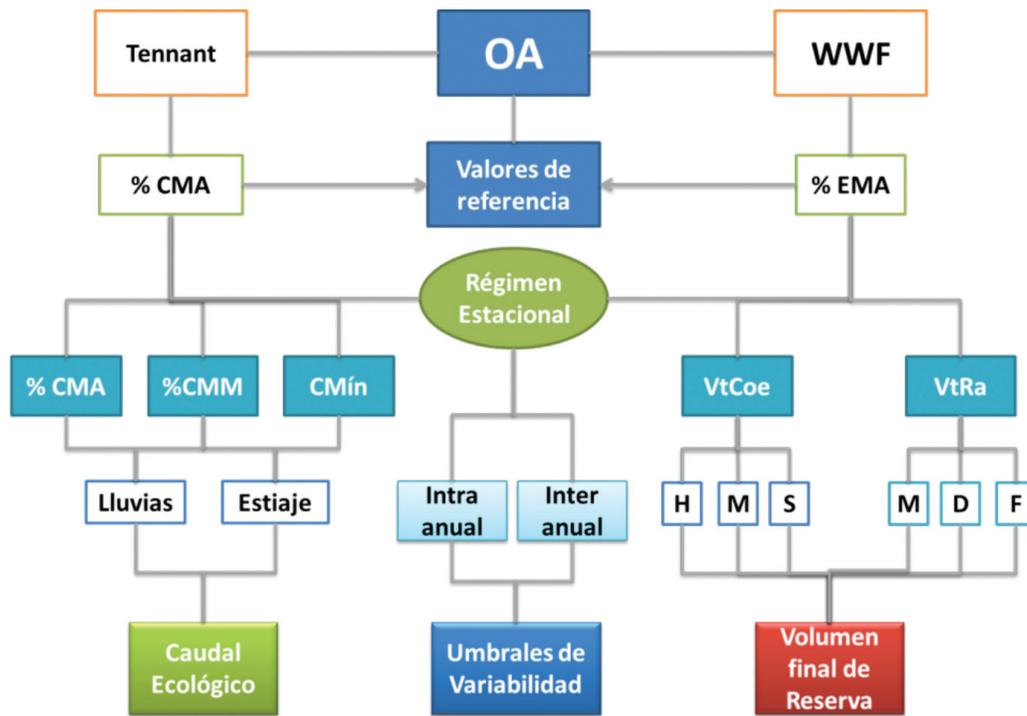


Ilustración 2. Secuencia metodológica.

Para el método de la WWF, de la serie de datos mensual, se calcularon los volúmenes de caudal ordinarios (VtCoe) y los volúmenes del régimen de avenidas (VtRa), como se muestra en las tablas 3 y 4. Estos

se suman para obtener el volumen final de reserva (Vfr): $Vfr = VtCoe + VtRa$

$Vfr = 30.81 + 9.25 = 40.06 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (53% del EMA 76 Mm³/año)

Tabla 2. Valores de referencia Tennant y WWF.

Estación hidrométrica	CMA (m³/s)	EMA (Mm³/año)	Tennant (modificado por García et al., 1999)				WWF	
			Estiaje		Avenidas		Perennes (P)	
			CMA (m³/s) (15%)	Q _{mi} (60%)	CMA (m³/s)	Q _{mi} (30%)	15-24 %EMA (Mm³/año)	
Temixco	2.37	76.6	0.36	60	0.71	30	11.5	18.4
Tetlama	0.67	23.9	0.10		0.20		3.6	5.7
Zacatepec	5.57	175.6	0.84		1.67		26.3	42.1

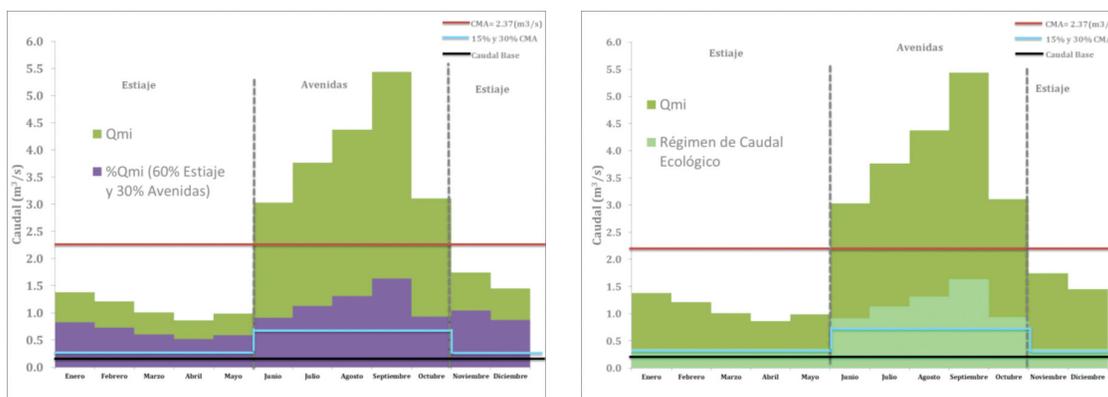


Ilustración 3. Propuesta de Qecol en función de %CMA y %Qmi.

Tabla 3. Volumen total de caudales ordinarios estacionales VtCoe.

Tipo de año	Muy secos	Secos	Medios	Húmedos
Percentil	P0	P10	P25	P75
VtCoe para cada condición (Mm³/año)	26	39	50	93
% Escurrimiento medio anual	4	6	7	14
Frecuencia (fCoe)	0.4	0.6	0.0	0.0
(VtCoe)	30.81 Mm³/año			

Tabla 4. Volumen total del régimen de avenidas.

Atributo del régimen hidrológico		Categoría I	Categoría II	Categoría III
Magnitud	m³/s	58.504	95.875	160.70
	Mm³/día	5	8	14
Frecuencia		3	2	1
Duración		3	2	1
VtRa a 10 años		92.51 Mm³		
VtRa al año		9.25 Mm³		

Régimen de variabilidad natural

De los caudales medios diarios se obtuvieron la variación del régimen intranual e interanual o histórico (ilustración 4). Utilizando un análisis no paramétrico, se obtuvieron los valores umbrales para 24 parámetros hidrológicos (tabla 5). Los resultados del análisis de la tendencia

de los caudales en los meses de menor y mayor flujo señalaron un patrón ascendente paulatino. Con relación a los datos climatológicos, la tendencia histórica en la precipitación anual en Temixco de 1957 a 2006 presenta un incremento gradual de 1 cm. La temperatura señala un incremento de 1.75 °C en el periodo de 1957 a 2009.

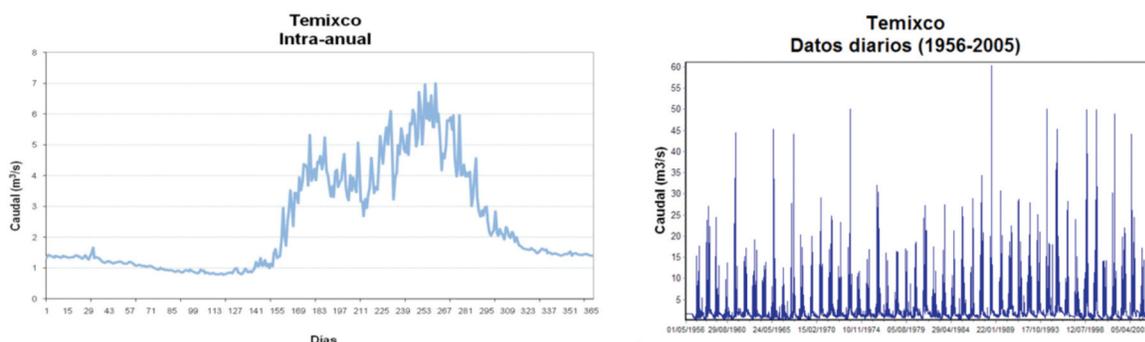


Ilustración 4. Variación intra e inter anual.

Tabla 5. Valores umbrales mensuales y de periodos de interés.

Mes	Percentiles				
	10%	25%	50%	75%	90%
Enero	0.9	1.02	1.3	1.5	2.0
Febrero	0.8	0.9	1.1	1.4	1.6
Marzo	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
Abril	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2
Mayo	0.5	0.6	0.8	1.1	1.3
Junio	0.7	1.1	1.6	2.3	3.6
Julio	1.3	1.6	2.1	3.3	4.2
Agosto	1.4	1.7	2.5	4.0	5.4
Septiembre	1.5	2.5	3.4	5.0	6.3
Octubre	1.2	1.5	2.2	2.8	3.8
Noviembre	1.1	1.2	1.6	1.8	2.4
Diciembre	1.0	1.1	1.3	1.7	1.9

Periodos	Percentiles				
	10%	25%	50%	75%	90%
1-día mínimo	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9
3-días mínimo	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9
7-días mínimo	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9
30-días mínimo	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
90-días mínimo	0.7	0.8	1.0	1.1	1.4
1-día máximo	13.8	17.2	24.6	32.6	49.8
3-días máximo	9.6	12.2	17.1	22.5	32.8
7-días máximo	6.5	8.3	12.1	15.1	20.0
30-días máximo	4.2	5.1	7.0	8.8	10.6
90-días máximo	2.8	3.5	4.5	5.9	6.9
Días de caudal cero	0	0	0	0	0
Índice de caudal base	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4

Discusión y conclusiones

Un OA “C”, conservación “Moderada”, se interpreta internacionalmente como una condición en la que los hábitats y la dinámica biológica han sido alterados, aunque las funciones básicas de los ecosistemas aún prevalecen (Smakhtin & Anputhas, 2006). Las especies sensibles se han perdido o permanecen reducidas, como *Cichlasoma istlanum* e *Istlariusbalsanus* (mojarra y bagre nativos). Reconoce la presencia de especies invasoras como las mojarra introducidas, carpas, peces de acuario y otros que ocurren en el río. Para el manejo del río, es importante utilizar metodologías que reflejen las variaciones naturales asociadas a procesos biológicos (TNC, 2009) (Richter et al., 1997). La NMX actual sugiere y acepta diversos métodos.

Las tendencias de incremento gradual de los caudales pueden estar relacionadas con los cambios del uso del suelo, incremento de superficies impermeables y descargas de aguas extraídas para riego; mientras que las tendencias en la precipitación y temperatura obtenidas en los escenarios de cambio climático, actualmente sub-escalados a nivel de país, señalan modificaciones esperadas para el estado de Morelos (Montero et al., 2010) con el escenario SRES-A2, reducción del 12.84% (117 mm) de la precipitación anual proyectada 2061-2090 y un incremento de 3 °C para el mismo periodo.

Referencias

DYSON, M., BERGKAMP, G. y SCANLON, J. Elementos esenciales de los caudales ambientales. San José, C.R: UICN-ORMA,

2003, 125 pp.

GARCÍA, R. E., GONZÁLEZ, R., MARTÍNEZ, P., ATHALA, J., Y PAZ-SOLDÁN, G. Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México. México: CNA-IMTA-SEMARNAP, 1999, 190 pp.

MONTERO, M., MARTÍNEZ, J., CASTILLO, N.I. Y ESPINOZA, B.E. Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máximas y mínimas. En Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático, Martínez-Austria, P. F. y Patiño-Gómez, C. (editores). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010, pp. 39-63.

NMX-AA-159-SCFI-2012 Norma Mexicana Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. México, DF, 20 de septiembre 2012.

POFF, N. L., RICHTER, B. D., ARTHINGTON, A. H., BUNN, S. E., NAIMAN, R. J., KENDY, E., ACREMAN, M. et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 2010, pp. 147-170.

RICHTER B. D., BAUMGARTNER, J. V., WILKINGTON, R. and BRAUN, D. P. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37, 1997, pp. 231-249.

SMAKHTIN, V. y ANPUTHAS, M. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI Research Report 107), 2006, p. 42.

TENNANT D. L. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4), 1976, pp. 6-10.

THARME R. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19, 2003, pp. 397-441.

TNC (THE NATURE CONSERVANCY). Indicators of hydrologic alteration, 2009.

Resumen curricular

María Antonieta Gómez Balandra. Bióloga por la UNAM y doctora en Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro. Docente en la maestría Ingeniería Ambiental de la FI-UNAM. Especialista en hidráulica con experiencia en evaluación de impacto y riesgo ambiental, caudales ecológicos y estudios hidrobiológicos.

Alejandro Ordoñez Ferrusco. Especialista en diseño y aplicación de programas de monitoreo de calidad del agua; utilización

de metodologías analíticas en campo y laboratorio; mantenimiento, manejo y calibración de equipos, e implementación y seguimiento de sistemas de Aseguramiento de Calidad en laboratorios analíticos.

Marco Antonio Mijangos Carro. Biólogo por la UAEM y maestro en Ecología y Ciencias Ambientales por la UNAM. Especialista en manejo integral y control de malezas acuáticas; análisis y muestreo de flora, agua, suelo, sedimento y aire; modelación de fuentes de contaminación difusa, y análisis espacial con herramientas de sistemas de información geográfica.

Sergio Rodríguez Torres. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Zacatepec, maestro en Ingeniería Ambiental por la UNAM. Especialista en manejo de bases de datos, sistemas de información geográfica y metodologías de caudal ecológico.

CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN DE INSPECTORES EN MUESTREO DE DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL A CUERPOS RECEPTORES DE PROPIEDAD NACIONAL, CON BASE EN UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

N. Ramírez, R. López, A. Ocón y L.M. Rivera

Resumen

El proyecto de Certificación y Acreditación fue dirigido a profesionales, técnicos y personal relacionado con las visitas de inspección y actividades de muestreo de agua residual de la Gerencia de Inspección y Medición (GIM), dependientes de la Comisión Nacional del Agua (Conagua).

El objetivo fue proveer las herramientas para facilitar a los inspectores el desarrollo, implementación y mantenimiento de un Sistema de Gestión de la Calidad, acorde con las funciones encomendadas a la Subdirección General de Administración del Agua (SGAA), para generar la documentación que permitiera evidenciar que las actividades de muestreo desarrolladas antes, durante y después de una visita cumplieran con lo indicado en un Sistema de Gestión de la Calidad.

Para el logro del objetivo, se requirió de capacitación del personal. La estructura

de la capacitación fue diseñada desde un enfoque práctico que permitió a los participantes:

- Interpretar cómo dar cumplimiento a los requisitos de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*.
- Comprender la aplicación del concepto de calidad en las actividades de muestreo de agua residual.
- Aplicar la norma técnica de muestreo NMX-AA-003-1980 *Aguas residuales-Muestreo*.
- Realizar los análisis de pH, temperatura, conductividad, materia flotante y aforo en descargas de agua residual, conforme a lo establecido en las normas de referencia.

Asimismo, con base en el Sistema Gestión de la Calidad desarrollado e implementado, se obtuvo la acreditación en muestreo de agua residual para 32 inspectores por

la Entidad Mexicana de Acreditación, A. C. (EMA), y la certificación de los mismos en materia de colecta de muestras de agua residual, por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con la norma de competencia técnica IMTA 0001.01 *Muestreo de descargas libres*.

Introducción

La CONAGUA, a través de la SGAA, realiza la verificación del cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y la normativa aplicable. Por su parte, la GIM se encarga de hacer visitas de inspección a los usuarios de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes.

Durante la visita, se efectuaron actividades de muestreo de agua residual y mediciones de campo para determinar si la extracción de las aguas nacionales, la ocupación de bienes nacionales y las descargas de agua residual se llevan a cabo conforme a las disposiciones de la Ley y normativa aplicables.

Las muestras de agua residual colectadas en las descargas a los cuerpos de agua propiedad nacional deben ser enviadas a laboratorios acreditados por la EMA, para evaluar si la calidad del agua descargada cumple con los límites máximos permisibles estipulados en la NOM-001-SEMAR-NAT-1996, o en las condiciones particulares de descarga (CPD).

Como objetivos se establecieron:

- Desarrollar, implementar y mantener un Sistema de Gestión de la Calidad acorde con las funciones encomendadas a la SGAA, para generar la do-

cumentación que permitiera evidenciar que las actividades de muestreo y mediciones de campo cumplen con lo establecido en la normatividad aplicable.

- Acreditar en muestreo, determinación de pH, temperatura y materia flotante en descargas de agua residual a 34 inspectores por la EMA, y certificarlos en materia de colecta de muestras de agua residual, por parte del IMTA.

Para homogenizar los criterios sobre calidad y muestreo se impartieron dos cursos sobre las Normas Mexicanas: NMX-EC-17025-IMNC-2006 *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración* y NMX-AA-003-1980 *Aguas residuales-Muestreo*, y las normas asociadas a las determinaciones que se realizan en el sitio de muestreo. El personal que participó en los cursos fue seleccionado por la Comisión Nacional del Agua.

Con la finalidad de mantener en control el Sistema de Gestión de la Calidad, se capacitó a 15 inspectores para que hicieran las funciones de auditores internos, conforme a la norma ISO 19011:2002 *Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental*.

Resultados

Se impartió el curso sobre la NMX-EC-17025-IMNC-2006 *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración* a un total de cuarenta inspectores de la SGAA. A cada participante se le entregó un ejemplar original de la Norma, así como el material didáctico a discutir durante la presentación del curso.

El segundo curso comprendió las normas: NMX-AA-003-1980 *Aguas residuales-Muestreo; Procedimiento obligatorio para muestreo de descargas de aguas residuales, artículo 278.B de la Ley Federal de Derechos 1997*; NMX-AA-006-SCFI-2000 *Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas*; NMX-AA-007-SCFI-2000 *Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*; NMX-AA-008-SCFI-2000 *Determinación de pH* y la NMX-AA-093-SCFI-2000 *Determinación de la conductividad electrolítica*.

El curso fue en formatos teórico y práctico. Durante su desarrollo, los inspectores propusieron la estructura de los formatos y de los procedimientos técnicos. Las propuestas se evaluaron para verificar que cumplieran con la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 y se ajustaron a las reglamentaciones de la Conagua. De las propuestas se generaron los formatos definitivos.

Para la evaluación, el personal en capacitación mostró registros en bitácora personal, bitácora en equipo y hoja de campo como evidencia de muestreo, y los resultados de las determinaciones de los parámetros de campo (pH, temperatura y materia flotante) evidencia que las actividades se efectuaron conforme a procedimiento, registrando los resultados en los documentos requeridos.

Para la formación de auditores internos, se impartió el curso *Auditorías Internas* conforme a la norma ISO 19011:2002 *Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental*, que tuvo una duración de tres días y una participación de 15 inspectores seleccionados por el Coordinador del Sistema de Gestión

de la Calidad de la Comisión Nacional del Agua.

Con objeto de fortalecer la capacitación de auditores internos de la Conagua y establecer si los inspectores se encontraban aptos para ser evaluados por la EMA, se realizó una auditoría interna al Sistema de Gestión de la Calidad desarrollado para el personal que hace los muestreos de descargas de agua residual y mediciones de campo.

Lo anterior para:

- Asegurar que el Sistema de Gestión de la Calidad cumple con los requisitos de la NMX-EC-17025-IMNC-2006 en lo correspondiente a muestreo, y verificar que el personal propuesto como signatario en muestreo cumple con lo establecido en el Sistema de Gestión de la Calidad.
- Verificar la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad.
- Realizar auditoría, como parte de la calificación en auditorías internas del personal de la Comisión Nacional del Agua.

Al personal en formación como auditor interno, se le aplicó un examen de conocimientos para otorgarle la constancia de participación y aprobación.

Certificación del personal por el IMTA

Con el apoyo de la Subcoordinación de Certificación de Personal, de la Coordinación de Desarrollo Profesional e Institucional del IMTA, se elaboró la norma de competencia técnica *IMTA 0001.01 Muestreo de descargas libres* para evaluar el desem-

peño, productos, aptitud y conocimiento de los inspectores en las actividades de muestreo de agua residual.

La evaluación de 32 inspectores de la Conagua para otorgar la certificación la realizó personal de la Subcoordinación de Aguas Residuales y de Calidad del Agua del IMTA, con experiencia en muestreo de aguas residuales y capacitados en la aplicación del instrumento de evaluación.

En colaboración con el Coordinador del Sistema de Gestión de la Calidad, designado por la Conagua, se elaboraron manuales que conformarían el Sistema de Gestión de la Calidad: *Manual de calidad*, *Manual de procedimientos administrativos* y *Manual de procedimientos técnicos*.

El *Manual de calidad* se estructuró considerando que tiene la función de establecer y direccionar las actividades aplicables al Sistema de Gestión de la Calidad. Incluye la declaración de la Política de la Calidad y se describe en forma detallada este Sistema. Identifica políticas y objetivos institucionales, así como las actividades funcionales y específicas de calidad programadas para alcanzar las metas de calidad propuestas para la operación del Sistema.

De igual forma, el manual integra el funcionamiento interno del Sistema y de éste incluye:

- Su alcance, con detalles y justificación de las exclusiones.
- Referencias a los procedimientos que establece.
- Descripción e interacción de sus procesos.

El *Manual de procedimientos administrativos* se elaboró con los documentos complementarios al *Manual de calidad*, generalmente referenciados en el mismo, y que describen con detalle la responsabilidad y autoridad de quién y cómo deben realizarse las actividades. Especifica los requisitos técnicos y de gestión que se deben seguir para garantizar la calidad de los resultados de los muestreos.

Este manual se considera elemento fundamental para la comunicación, coordinación, dirección y evaluación administrativa, además de apoyar la capacitación, debido a que facilita la interacción e interrelación del personal de muestreo a través del flujo de información.

En el *Manual de procedimientos técnicos* se compilaron los métodos utilizados y validados, y se especifica la forma en que se lleva a cabo cada una de las actividades: quién, cómo, cuándo, dónde y con qué medios.

Las funciones descritas en este manual son un instrumento administrativo que apoya la coordinación de actividades de muestreo, ya que consigna en forma secuencial, ordenada y metódica las operaciones que deben seguirse para la realización de las funciones asignadas a cada actividad. Los procedimientos documentados, además de asegurar la consecución de un trabajo, permiten que los usuarios sigan un protocolo que podrá continuamente ser mejorado y preservarse como experiencia institucional.

Asimismo, se recibió la visita de evaluación por parte de la EMA. Se evaluó a 36

inspectores propuestos para signatarios en: Muestreo en agua residual; Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas; Determinación de pH, y Determinación de materia flotante.

La EMA otorgó la acreditación como signatarios externos en muestreo y parámetros de campo a 35 inspectores.

Recomendaciones

Se sugiere que la Coordinación del Sistema de Gestión de la Calidad elabore, en conjunto con los organismos de cuenca y las direcciones locales, el listado de laboratorios que los apoyan en los muestreos y servicios analíticos, con la finalidad de asegurar que se están empleando laboratorios acreditados para los análisis requeridos.

El Coordinador del Sistema de Gestión de la Calidad de la Conagua debe establecer:

- Un programa de mantenimiento preventivo de los equipos e instrumentos, con objeto de asegurar su correcto funcionamiento.
- Un programa de calibración para los instrumentos que lo requieran, tal como los termómetros, con el fin de asegurar la trazabilidad de las mediciones a un patrón nacional.
- Un expediente para los equipos e instrumentos, lo que permite conocer su historial.
- Un programa de mantenimiento correctivo para aquellos instrumentos que lo requieran.

Además, se requiere proporcionar a los inspectores que hacen el muestreo de agua residual los instrumentos necesarios para su realización y la determinación de pruebas de campo establecidas en la normatividad correspondiente: medidor de pH con compensador de temperatura y termopar calibrado, y malla para determinar materia flotante.

ANÁLISIS TÉCNICO Y PRUEBAS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL MEZQUITAL, EN DIVERSOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE HIDALGO

J. E. Cortés, C. G. Calderón, L. Montellano, A. Martín, S. Gelover, J. Linares, A. Gómez, G. E. Moeller, C. L. Hernández y E. E. Espino

Resumen

La presencia de contaminantes químicos emergentes en fuentes de abastecimiento de agua es una preocupación actual. Ello, debido a posibles riesgos sanitarios asociados con la exposición crónica a bajas dosis. Esto es de suma importancia en zonas como el Valle del Mezquital, donde la recarga del acuífero se debe a la infiltración de aguas residuales utilizadas en el riego agrícola. Para asegurar la inocuidad del agua, se evaluó el uso de procesos de membrana. Modelos de fugacidad y pruebas *in silico*, disponibles a través de agencias internacionales, se utilizaron como herramienta para identificar riesgos potenciales a la salud pública y al ambiente, ya que no se contaba con información epidemiológica o de estudios *in vivo*. Mediante nanofiltración, fue posible remover aproximadamente 90% de sustancias minerales; sin embargo, la remoción de compuestos orgánicos, incluyendo contaminante emergentes, osciló entre 42 y 100%. Tales herramientas son un soporte conservador para reducir los riesgos sanitarios y ambientales derivados de la continua

liberación al ambiente de contaminantes emergentes (fármacos, hormonas y productos de uso industrial y cuidado personal e higiene).

Introducción

El Valle del Mezquital recibe las aguas residuales generadas en la ciudad de México. Constituye un ejemplo claro de la recarga de un acuífero a través de la reutilización de estas aguas en riego agrícola (aproximadamente 90,000 hectáreas) en los distritos de riego 03 Tula y 100 Alfajayucan (ilustración 1). El acuífero representa el recurso de agua potable para la población de la región y, actualmente, se plantea como una alternativa para coadyuvar a las necesidades de abastecimiento de la zona metropolitana de la ciudad México. Esta práctica de reúso resulta en altas tasas de infiltración hacia los acuíferos y, si bien en el proceso de infiltración el suelo puede operar como “sistema de tratamiento” mejorando la calidad del agua (Wintgens *et al.*, 2008), siempre habrá incertidumbre acerca de su potabilidad. Siemmens *et al.* (2007) reportaron que en el

Valle del Mezquital el suelo, por sus características, permite el paso de moléculas orgánicas principalmente ácidas. Otros autores reportan que el agua no cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 2000) para arsénico (As), mercurio (Hg), plomo (Pb) y fluoruros (F⁻) (Lesser *et al.*, 2011); además de la presencia de plaguicidas, fármacos, estrógenos, alquilfenoles y productos de uso industrial y para higiene personal

(Gibson, *et al.*, 2007; Jiménez *et al.*, 2004). Varios de los compuestos incluidos en estos grandes grupos de sustancias pueden ser calificados como “contaminantes emergentes” (CE), pues no habían sido reconocidos como relevantes a las concentraciones ambientalmente detectadas. Poco se sabe de los riesgos para la salud pública y vida silvestre, o de su transformación, inactivación y remoción en sistemas de tratamiento de agua residual y de potabilización.

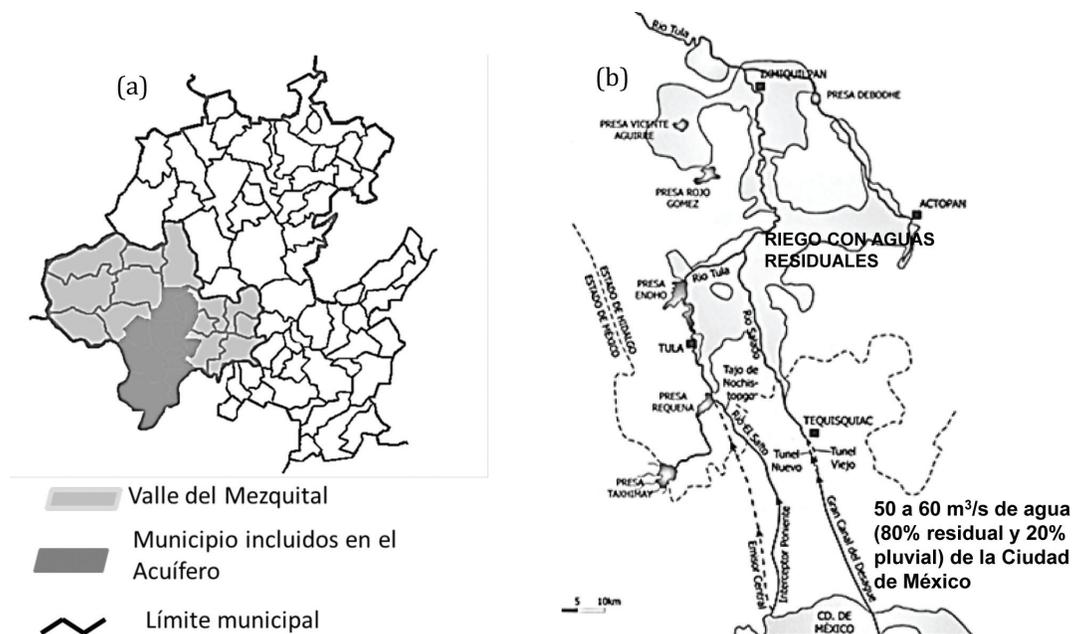


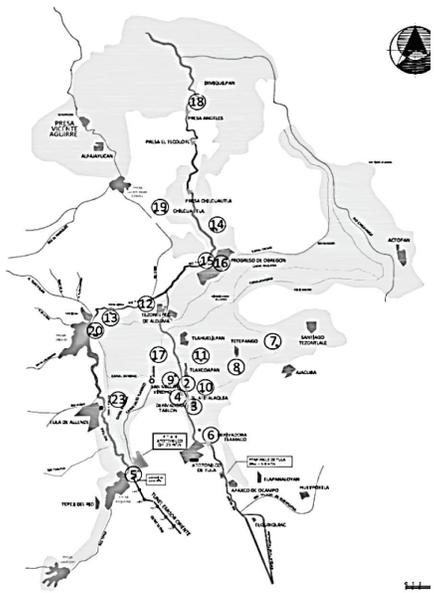
Ilustración 1. Valle del mezquital en el estado de Hidalgo (a) y localización de la zona de riego con aguas residuales (b).

Resultados

Calidad del agua

La modificación a la NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 2000), además de los indicadores de calidad bacteriológica, entre otros parámetros químicos, regula metales pesados,

fluoruros, plaguicidas organoclorados, trihalometanos totales y compuestos orgánicos volátiles. En este marco, de las veinte fuentes de abastecimiento muestreadas (ilustración 2), solamente los pozos Fitzhi y El Llano tuvieron calidad bacteriológica apta para consumo humano.



Pozos	
2. Tezoquipa	11. Teltipan
3. El Tablón	12. El Pueche
4. Dendho	13. Atengo
5. San Antonio	14. Xochitlán
6. El Refugio	16. Progreso
7. Ajacuba	18. Fitzhi
8. Noria Tetepango	19. Chilcuautla
9. Doxey	20. Pedro Ma. Anaya
10. Tlaxcoapan	23. El Llano
Manantiales	
15. Progreso	17. Cerro Colorado

Ilustración 2. Localización de fuentes de abastecimiento muestreadas

Cuatro contaminantes con potencial para causar alteración endocrina y otros efectos adversos a la salud humana rebasaron los límites máximo

permisibles: As, F⁻, Hg y Pb. Otros parámetros que no cumplen con la normativa fueron el aluminio, bario, sodio y sulfatos (tabla 1).

Tabla 1. Parámetros químicos que no cumplen con la normativa mexicana para agua de consumo humano en el Valle del Mezquital.

Parámetro	Concentración		Número de fuentes fuera de norma	Efectos a la salud
	Máxima permisible	Fuentes		
Aluminio (mg/L)	0.2	0.34-4.93	4/20	Límites fijados con criterios de aceptación por parte de los usuarios.
Sodio (mg/L)	200	230.4	1/20	
Arsénico (µg/L)	25	26.0-38.7	3/20	Carcinógeno de humanos. Alteración endocrina, melanosis y queratosis en piel, afectación de los sistemas cardiovascular, nervioso y hematopoyético.
Bario (mg/L)	0.7	0.77-1.2	2/20	Efectos cardiovasculares.
Flúor (mg/L)	1.5	1.52-3.77	11/20	Concentraciones de entre 0.9 y 1.2 mg/L dependiendo de la ingesta se produce fluorosis dental.
Plomo (µg/L)	10	11-28	2/20	Alteración endocrina. Afectación a sistemas hematopoyético y renal. Retardo en el desarrollo físico y mental.
Mercurio (µg/L)	1.0	2.0-6.6	5/20	Alteración, endocrina, neurotóxico y nefrotóxico.
Sulfatos (mg/L)	250	1023.3	1/20	Diarrea.

La mayor contaminación se presentó en los pozos de la región sur del Valle del Mezquital;

en las zonas centro y norte, hubo altas concentraciones de F⁻ (ilustración 3).

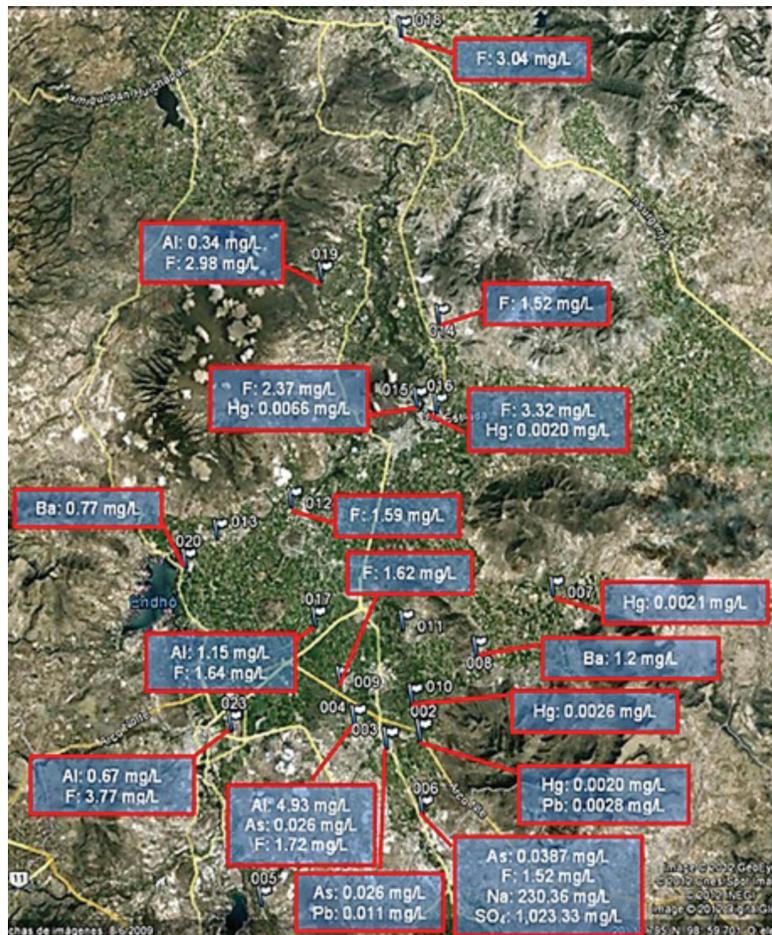


Ilustración 3. Parámetros químicos que no cumplen con la normativa mexicana para agua de consumo humano en el Valle del Mezquital.

Con respecto a los CE y otros contaminantes no regulados, en el monitoreo realizado en estiaje se identificaron ochenta compuestos volátiles y semivolátiles (CVSV). A nivel cualitativo, la zona sur del Valle presentó la mayor diversidad de contaminación. No obstante, al interior del Valle hay aportación de contaminantes al agua, aunque no hay una tendencia o gradiente de contaminación aparente (tabla 2). En el monitoreo efectuado en lluvias, las ocho

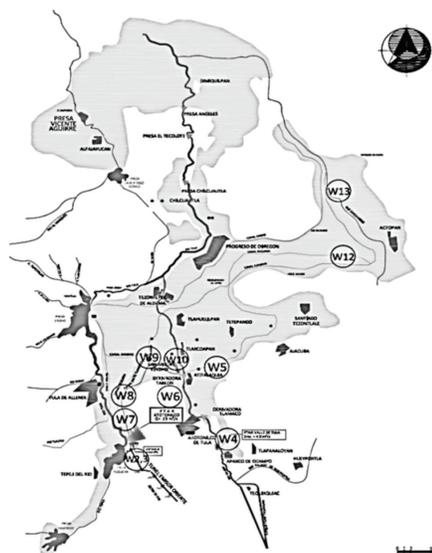
fuentes muestreadas presentaron CVSV (173); la mayor contaminación se detectó principalmente en la zona centro (tabla 2).

En aguas residuales (ilustración 4) y fuentes de abastecimiento estuvieron presentes hormonas estrogénicas en concentraciones ultra-traza (tabla 3), así como bisfenol A, alquilfenoles y sus etoxilatos (tabla 4). Seis de las ocho fuentes muestreadas en lluvia presentaron contaminación por fár-

macos y productos para el cuidado personal en concentraciones ultra-traza (tabla 5). Estos CE son relevantes desde el punto

de vista de salud pública por su potencial para alterar procesos endocrinos en humanos y organismos acuáticos y terrestres.

Ilustración 4. Localización de sitios de muestreo de aguas residuales.



W2 Emisor Central
W3 Río El Salto
W4 Río Salado
W5 Canal Tlamaco-Juandho
W6 Canal Salto-Tlamaco
W7 Canal Salto-Tlamaco 2
W8 Canal Requena 1
W9 Canal Dendho
W10 Canal Requena 2
W12 Canal Requena 3
W13 Canal Xotho

Tabla 3. Estrógenos en aguas residuales y fuentes de abastecimiento.

Sitio de muestreo		Estógenos (ng/L)	Sitio de muestreo		Estógenos (ng/L)
Aguas residuales					
W2	Emisor Central	86.032	W8	Principal Requena 1	11.740
W3	Río El Salto	68.725	W9	Principal Dendhó	114.599
W4	Río Salado	76.314	W10	Principal Requena 2	60.067
W5	Tlamaco-Juandhó	No detectado	W12	Principal Requena 3	33.855
W6	Salto-Tlamaco 1	No detectado	W13	Xotho Canal	12.141
W7	Salto-Tlamaco 2	39.13			
Pozos					
002	Tezoquipa	3.021	011	Teltipan	3.105
003	El Tablón	0.524	012	El Piedhe	3.080
004	Dendhó	1.228	013	Atengo	No detectado
005	San Antonio	5.633	014	Xochitlan	0.158
006	El Refugio	1.320	016	Progreso	1.176
007	Ajacuba	2.105	018	Fitzhi Well	2.110
008	Noria Tetepango	No detectado	019	Chilcuautla Well	11.426
009	Doxey	No detectado	020	P. Ma. Anaya Well	No detectado
010	Tlaxcoapan	0.134	023	El Llano Well	4.510
Manantiales					
017	Cerro colorado	5.660	015	Progreso	No detectado

Tabla 4. Bisfenol A y alquilfenoles y sus etoxilatos en aguas residuales y fuentes de abastecimiento.

Sitio de muestreo		Bisfenol A y alquilfenoles (µg/L)	Sitio de muestreo		Bisfenol A y alquilfenoles (µg/L)
Aguas residuales					
W2	Emisor Central	41.28	W8	Principal Requena 1	43.82
W3	Río El Salto	64.75	W9	Principal Dendhó	94.87
W4	Río Salado	17.41	W10	Principal Requena 2	23.84
W5	Tlamaco-Juandhó	53.27	W12	Principal Requena 3	25.90
W6	Salto-Tlamaco 1	19.03	W13	Xotho Canal	0.60
W7	Salto-Tlamaco 2	24.29			
Pozos					
002	Tezoquipa	No detectado	011	Teltipan	2.27
003	El Tablón	No detectado	012	El Piedhe	No detectado
004	Dendhó	No detectado	013	Atengo	No detectado
005	San Antonio	2.15	014	Xochitlan	2.00
006	El Refugio	No detectado	016	Progreso	No detectado
007	Ajacuba	1.23	018	Fitzhi Well	No detectado
008	Noria Tetepango	0.29	019	Chilcuautila Well	0.88
009	Doxey	1.93	020	P. Ma. Anaya Well	No detectado
010	Tlaxcoapan	No detectado	023	El Llano Well	No detectado
Manantiales					
017	Cerro colorado	No detectado	015	Progreso	No detectado

Tabla 5. Fármacos y productos para el cuidado personal en fuentes de abastecimiento.

Pozo El Refugio (006)			
Eritromicina	0.325	DEET	1.64
Pozo Chilcuautila (019)			
Eritromicina	0.31	Cafeína	22.9
Sulfametoxasol	16.7	DEET	1.01
Pozo Xochitlan (014)			
Eritromicina	0.31	Cafeína	22.9
Sulfametoxasol	16.7	DEET	1.01
Pozo Atengo (013)			
Eritromicina	1.08	Cafeína	24.3
Sulfametoxasol	15.9	DEET	2.01
Carbamazepina	11.5	Benzoilecgonina	0.493
Manantial Cerro colorado (017)			
Eritromicina	1.35	DEET	0.923
Sulfametoxasol	10.4	Benzoilecgonina	0.318
Carbamazepina	5.24	Metilprednisolona	10.4

Pozo Tezoquipa (002)			
Sulfametoxasol	7.25	DEET	0.948
Metilprednisolona	12.9	Ácido clofíbrico	55.5

Riesgos sanitarios

Cualitativamente, se identificó riesgo de exposición humana a 173 CE presentes en el agua de consumo. Mediante la consulta en bases de datos internacionales y el uso de herramientas in silico se calificó a 35 de estos como altamente prioritarios por su potencial carcinogénico, toxicidad sistémica, toxicidad para organismos acuáticos y vida silvestre, así como por su persistencia ambiental y distribución en diferentes compartimientos ambientales (evaluadas con modelos de fugacidad). Destacan: cloroformo, benceno, plaguicidas (1,4-diclorobenceno, 1,2-dicloropropano, 1,2,3,4-tetrahidronaftaleno, 3-cloro-2-metil-1-propeno, 1,1-dicloro-1-nitroetano), aromatizantes/saborizantes (metanotiol, 2-pentanona, 3-metil-2-pentanona, Ác. 2-metilpentanoico, 5-metil-2-hexanona, 2,3-dicloro-2-metilbutano, 3-metil-2-butanona, 2-propeniléster del Ác. acético) y de formulaciones para cosméticos (etilbence-

no, dietilftalato, eucaliptol, tetradecano, nonadecano, 1,2,4-trimetilbenceno, metil-isobutilcetona).

Los cocientes de peligro estimados (mayores a 1.0) mostraron que puede haber riesgos a la salud por consumo de agua con As, F⁻ y Hg. No existe un valor de referencia para Pb debido a que las agencias internacionales consideran que cualquier exposición es grave, por lo que habrá que ser muy conservadores y tratar el agua para su potabilización. Los cocientes de peligro menores a 1.0 indican que en el presente los alquilfenoles, el bisfenol A, la isoforona, bis-2-(etilhexil)-ftalato, dietilftalato, dibutilftalato y naftaleno no representan riesgos para la salud humana (tabla 6); no obstante, existe una gran incertidumbre a mediano y largo plazos, dados los huecos en el conocimiento, las ventanas de exposición necesarias y los periodos de latencia para que haya un efecto observable.

Tabla 6. Índices de riesgo por ingestión de contaminantes con potencial para alterar el sistema endocrino a través del agua de consumo.

Analito	Índice de peligro*			
	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
Arsénico	2.48E+00	4.07E+00	8.22E-03	2.41E+01
Mercurio	3.26E-01	4.39E-01	0.00E+00	2.61E+00
Fluoruro	3.95E+00	3.28E+00	2.74E-01	2.10E+01
Bisfenol A	7.18E-04	2.12E-03	0.00E+00	1.86E-02
4-Nonylfenol	2.81E-03	3.93E-03	0.00E+00	2.04E-02
Bis-2-(etilhexil)-ftalato	9.28E-03	3.51E-02	0.00E+00	3.07E-01
Dietilftalato	5.78E-06	1.39E-05	0.00E+00	1.09E-04
Dibutilftalato	8.94E-04	3.04E-03	0.00E+00	2.68E-02
Índice de peligro=dosis ingerida/dosis de referencia				

Pruebas de potabilización

Para llevar a cabo las pruebas de tratabilidad se eligió al manantial Cerro Colorado, ya que la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en esta fuente es equi-

valente al promedio ponderado (de concentración y caudal) de las veinte fuentes muestreadas. El tren de tratamiento consistió en filtración en antracita y arena, adición de antiincrustante y nanofiltración (ilustración 5).



Ilustración 5.

La planta de nanofiltración utilizada es de dos etapas, opera con una recuperación promedio de 58% y el flujo del permeado es de 1 L/s. El flux aplicado fue de 25.2 L/m²h. La presión de operación osciló entre 3.9 y 4.6 kg/cm². El diferencial de presión entre la alimentación y el rechazo fue inferior a 0.68 10 psi en todo momento, lo cual indica que el pretratamiento fue eficaz para el proceso. Para el seguimiento del comportamiento del sistema, además de las presiones de alimentación y rechazo, se optó por algunos parámetros de la fracción mineral: alcalinidad, conducti-

vidad, dureza, fluoruros y sulfatos. Para evaluar la remoción de materia orgánica, se utilizó como medida indirecta el carbono orgánico total (COT) dada la dificultad de analizar directamente a los CE. Adicionalmente, se llevó a cabo la determinación de compuestos orgánicos ácidos, neutros y básicos además de compuestos volátiles y semivolátiles.

La remoción de la fracción mineral para dureza y sulfatos fue superior al 95%. En el caso de los F⁻ el comportamiento fue más errático, pero siempre se removió más del

75%. En el caso de la conductividad, la remoción fue entre 80 y 85% (ilustración 6). La eficiencia de remoción de COT osciló entre 42 y 100%. Esta variabilidad puede ser explicada porque muchos de los compuestos orgánicos detectados tienen un tamaño molecular menor que 200 Da., además de tratarse de moléculas no polares, por lo que la carga eléctrica superficial de la membrana no contribuye al rechazo de tales sustancias y el efecto estérico no

es suficiente para retener al compuesto (tabla 7).

Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de tratabilidad en el pozo Tezoquipa utilizando el mismo tren de tratamiento. Este pozo, ubicado en el sur del Valle, presentó bajas concentraciones de minerales disueltos pero una variedad amplia CE. La tabla 8 muestra algunos de los compuestos orgánicos identificados en esta fuente.

Ilustración 6. Eficiencia de remoción de materia inorgánica.

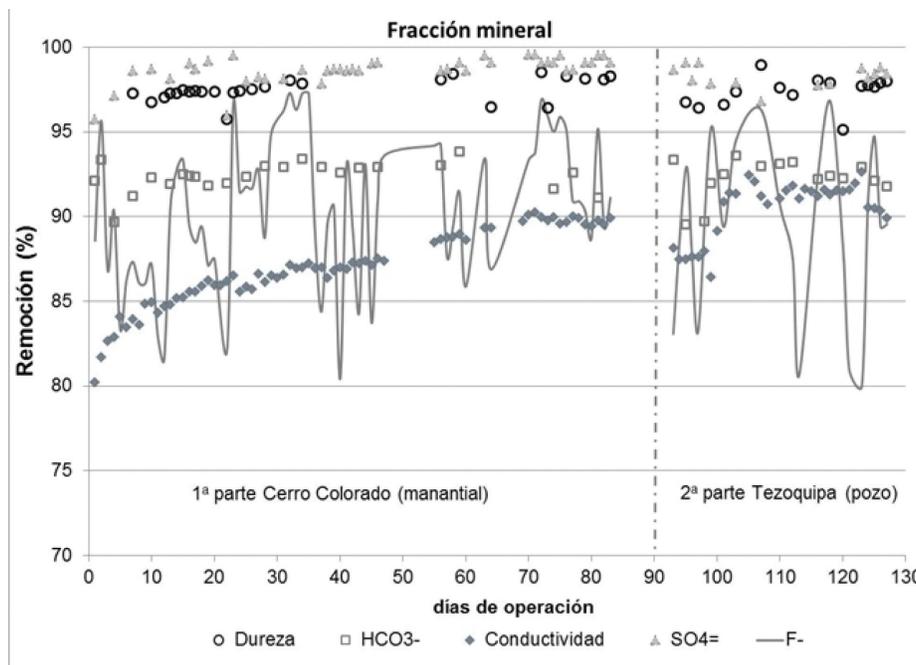
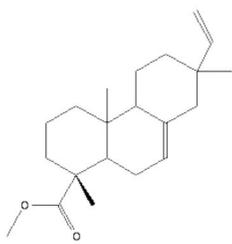
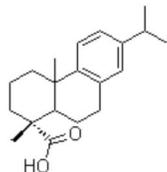
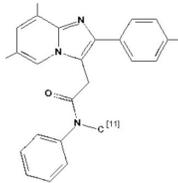
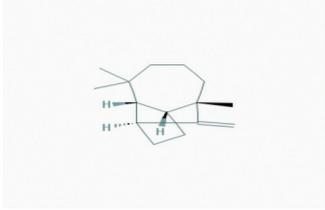
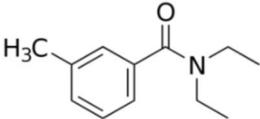


Tabla 7. Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles con bajo o nulo rechazo.

No. CAS	Compuesto Orgánico	Peso molecular	Observaciones
67-66-3	Cloroformo	119.38	Estos compuestos fueron medidos en forma cuantitativa y se encontraron en el agua cruda y en el permeado, la remoción del parámetro surrogado (COT) fue baja cuando se tomó la muestra para la determinación de los compuestos orgánicos.
75-83-2	2,2 Dimetilbutano	86.18	
78-87-5	1,2 Dicloropropano	112.99	
79-00-5	1,1,2 Tricloroetano	133.42	
79-34-5	1,1,2,2, Tetracloroetano	133.42	
106-42-3	p-Xileno	167.85	
107-06-2	1,2 Dicloroetano	98.96	
3518-65-8	Clorometanosulfonilcloruro	149	
38585-79-4	1-Bromo-2,3-diclorobutano	232.62	

Tabla 8. Compuestos orgánicos encontrados en el pozo Tezoquipa.

Compuesto	Molécula	Observaciones
Ácido 1-fenantrenocarboxílico PM		Peso molecular mayor que el corte de peso molecular de la membrana. Radio molecular mayor que tamaño de poro. Carga eléctrica (no fue posible encontrar pKa, pero es probable que esté protonado) Rechazo 100%.
Ácido dehidroabiético PM 300		Peso molecular mayor que el corte de peso molecular de la membrana. Radio molecular mayor que tamaño de poro Carga eléctrica (pKa 5.7 el ácido está protonado en las muestras de agua) Rechazo 100%.
Ácido pentadecanóico PM 242	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CH}_2\text{COOH}$	Peso molecular mayor que el corte de peso molecular de la membrana. Carga eléctrica (pKa 6.47 el ácido está protonado en las muestras de agua). Rechazo 100%
8-methyl-N-Phenyl(6) Pyrrolo PM 443.74	(2,4) 	Peso molecular mayor que el corte de peso molecular. Radio molecular mayor que tamaño de poro Rechazo 100%
Junipene Methanoazulene PM 204.35	1,4- 	Peso molecular ligeramente mayor que el corte de peso molecular de la membrana. Radio molecular mayor que el poro de la membrana. Rechazo 100%
DEET PM 191.27		Peso molecular menor que el corte del peso molecular de la membrana Molécula neutra, Rechazo nulo

Conclusiones y recomendaciones

En el Valle del Mezquital, el reúso de las aguas residuales para riego agrícola ha favorecido la recarga del acuífero, lo cual ha incrementado la disponibilidad de agua para suministro.

El As, F, Hg y Pb, así como los múltiples contaminantes orgánicos en las fuentes de abastecimiento, representan una amplia variedad de efectos adversos para la salud, incluyendo alteraciones en el sistema endocrino.

El proceso de nanofiltración se considera adecuado para tratar el agua del Valle de Mezquital, ya que la concentración de SDT totales es superior a los límites marcados por la modificación a NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 2000). La remoción de iones como fluoruros, sulfatos y arsenato presentes en las fuentes de abastecimiento pueden ser removidos eficientemente por este proceso.

Se requiere mayor investigación que permita: a) integrar aspectos ambientales, toxicológicos y epidemiológicos, b) generar información para el entendimiento de las transformaciones y destino ambientales de los CE, y c) profundizar en los mecanismos de transformación e inactivación de CE para garantizar la inocuidad de los rechazos producidos en la nanofiltración.

Bibliografía

GIBSON, R., BECERRIL, E., SILVA, V., and JIMÉNEZ, B. Determination of acidic phar-

maceuticals and potential endocrine disrupting compounds in wastewaters and spring waters by selective elution and analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. Vol. 169, No. 1-2, 2007, pp. 31-39.

JIMÉNEZ, B., and CHÁVEZ, A. Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: "El Mezquital Valley" case. *Water Science and Technology*. Vol. 50, No. 2, 2004, pp. 269-276.

LESSER, L., LESSER, J., ARELLANO, S., y GONZÁLEZ, D. Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 28, No. 3, 2011, pp. 323-336.

SIEMENS, J, HUSCHEK, G., SIEBE, C., AND KAUPENJOHANN, M. Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City-Mezquital Valley. *Water Research*. Vol. 42, No. 8-9, 2007, pp. 2124-2134.

SSA. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. *Diario Oficial de la Federación*, 22 de noviembre, 2000.

WINTGENS, T., SALEHI, F., HOCHSTRAT, R., AND MELIN, T. Emerging contaminants and treatment options in water recycling for indirect potable use. *Water Science & Technology*. Vol. 57, No. 1, 2008, pp. 99-107.

BIOSTAR: DE LA INVESTIGACIÓN A LA COMERCIALIZACIÓN

P.Mijaylova, G.Moeller y G.Mantilla

Resumen

En atención a la problemática relacionada con el déficit del agua y la contaminación por descargas de aguas residuales de pequeñas comunidades, fraccionamientos habitacionales y zonas residenciales alejadas de los sistemas centralizados de recolección y tratamiento, se estableció como objetivo desarrollar una tecnología sustentable, compacta y robusta para efectuar tratamiento descentralizado de aguas residuales, basada en reactores con biomasa aerobia inmovilizada sobre un soporte sintético y lecho sumergido, que permita cumplir con los requisitos de descarga y reúso urbano de las aguas tratadas.

Para lograr el objetivo se realizó investigación básica y aplicada en laboratorio y piloto, se seleccionó el mejor soporte para la biomasa, se analizaron alternativas de diseño del lecho y del reactor, con base en criterios de sustentabilidad se seleccionó la mejor alternativa, se realizó el dimensionamiento del prototipo y los planos para su construcción. Se elaboró un diseño específico del lecho sumergido integrando en un solo reactor varias zonas con diferentes funciones. Después, se realizó la elaboración e instalación de un prototipo y su funcionamiento se evaluó variando los parámetros de operación, tales como

las cargas orgánicas, caudales de agua y aire, y recirculación.

Se obtuvieron las eficiencias de remoción de los principales contaminantes en el agua residual y las mejores condiciones de operación. Se realizaron mejoras de elementos electro-mecánicos y escalamiento para crear tres modelos, se obtuvo el análisis económico del sistema, se procedió a la protección de la tecnología, se hizo una valoración, plan de negocios y, finalmente, la transferencia de la tecnología mediante una alianza estratégica para la fabricación y comercialización de la tecnología.

Introducción

La inversión para construcción de plantas grandes y medianas para el tratamiento de aguas residuales se ha incrementado en México durante la última década. Como resultado, reciben tratamiento más de 40% de las aguas residuales recolectadas (Conagua, 2011). Sin embargo, más del 30% de la población vive en comunidades pequeñas, fraccionamientos habitacionales y zonas residenciales construidas en las periferias de los centros urbanos que actualmente no tienen sistemas centralizados de recolección y/o tratamiento de sus aguas residuales (Estimado con base en el II Censo de Población y Vivienda del

INEGI en 2005, y datos presentados en Conagua, 2011).

Las zonas habitacionales en las periferias de las ciudades, a diferencia de las comunidades rurales, cuentan con sistemas de recolección de las aguas residuales, pero están alejadas de las plantas de tratamiento municipales o por razones técnico-económicas no es conveniente su transferencia hasta ninguna planta, sino tratamiento y aprovechamiento o disposición de forma local (plantas satélite). En estos casos, para el tratamiento y la disposición de las aguas residuales se usan generalmente fosas sépticas e infiltración subsuperficial. La baja remoción de contaminantes que permiten obtener estos sistemas, y las fallas por sobrecarga y operación inadecuada provoca contaminación de suelo, acuíferos y aguas superficiales (US EPA, 2002).

Por otro lado, el 67% del territorio Mexicano es árido y semiárido, y casi 72% de la población vive en las zonas con escasez del agua (Conagua, 2011), lo cual actualmente es un problema de gran preocupación. La implementación de sistemas de manejo del agua descentralizados que consideren obtención de agua regenerada de buena calidad para su reúso urbano, es parte de la estrategia para solucionar la problemática relacionada con la contaminación y el déficit del agua.

En atención a esta estrategia, la iniciativa privada en México ha implementado ciertos sistemas de tratamiento (plantas paquete), construidos con su capital y tecnología basada en sistemas de tratamiento convencionales. Algunas empresas importan, venden o construyen sistemas importados de otros países. Las plantas construidas o las que se ofrecen en el mercado no están avaladas en

la mayoría de los casos; su efectividad técnica y económica es dudosa. Hay desconfianza por parte de los clientes.

En atención a la problemática descrita se planteó como objetivo desarrollar una solución tecnológica sustentable, compacta y robusta para efectuar tratamiento descentralizado de aguas residuales, basada en reactores con biomasa aerobia inmovilizada sobre un soporte sintético y lecho sumergido, que permita dar cumplimiento a los requisitos de descarga y reúso urbano de las aguas tratadas.

Resultados

La investigación sobre el tema planteado en el objetivo empezó en 2006 con un proyecto en el cual se estudiaron comparativamente diferentes materiales sintéticos y naturales para ser utilizados como soporte de los microorganismos: dos tipos de gránulos de polietileno, gránulos de propileno, de arcilla y de tezontle, cubos de poliuretano esponjado y cintas de polietileno, y diferentes métodos de estructuración del lecho (Mijaylova y Moeller, 2006).

Se construyó una instalación experimental consistente de siete biofiltros de lecho sumergido de 20 L de volumen cada uno, empacados con los materiales seleccionados (ilustración 1), los que se operaron durante seis meses aplicando cargas orgánicas en el intervalo $0.4-6.0 \text{ kgDQO}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{día}^{-1}$ (demanda química de oxígeno) y tiempos de residencia hidráulica desde 1 hasta 12 horas. Las áreas específicas de todos los empaques fueron similares ($1,030-1,210 \text{ m}^2/\text{m}^3$), pero la porosidad de los lechos con la cinta de polietileno y con los cubos de poliuretano fue mucho mayor que el resto de los materiales.



Ilustración 1. Biofiltros experimentales con diferentes materiales de soporte de la biomasa.

Se determinó la capacidad del proceso para remover materia orgánica, nitrógeno y fósforo, la cantidad de biomasa, sus características, crecimiento y tiempo de retención en los reactores, así como el efecto del oxígeno disuelto sobre la remoción del nitrógeno. Los resultados de este estudio fueron publicados en Mijaylova et al. (2008).

Con base en las conclusiones de la investigación realizada en este primer proyecto, en 2007 y 2008 se diseñó, construyó y evaluó el prototipo de un reactor compacto, al cual se le denominó “BIOSTAR”, integrando en un solo reactor una zona activa de biodegradación aerobia con lecho móvil de cinta de polietileno sumergido en el agua, un sedimentador periférico y

una zona inferior de acumulación de lodos biológicos (Mijaylova y Moeller, 2007).

La vista general del BIOSTAR se presenta en la ilustración 2. Durante el periodo experimental la carga orgánica se varió desde 4 hasta 18 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ y el prototipo permitió remover 73-96% de DQO, 80-99.5% de (demanda biológica de oxígeno (DBO), 80-99% de sólidos suspendidos totales (SST), 79-99% de nitrógeno de amonio (N-NH_4^+), 69-73% de nitrógeno (N_{total}), 38-44% de fósforo (P_{total}), así como 90-99% de microorganismos patógenos medidos como coliformes fecales. Se obtuvo un efluente de alta calidad (concentraciones bajas de SST, DQO, N y P, cumpliendo con los límites máximos permisibles de las normas NOM-001-SEMARNAT/1996 y NOM-003-

SEMARNAT/1997 para reúso con contacto directo), con una turbiedad <5 UTN que garantiza la efectividad de una desinfección

con lámparas UV (ultravioleta) y permite el aprovechamiento del agua tratada en servicios al público.



Ilustración 2. Prototipo del BIOSTAR-IMTA.

Se determinó el consumo energético. El diseño innovador del lecho sumergido que permite una mejor transferencia del oxígeno durante la aireación hizo posible disminuir sustancialmente el requerimiento energético del sistema a 0.24 kWh/m³ agua tratada. Con el sustento técnico obtenido, en diciembre de 2008 se entregó al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) la solicitud de patente.

Los principales resultados obtenidos durante el estudio se publicaron en Mijaylova y Moeller (2010). La revisión de fondo de la solicitud de patente tardó cuatro años y, en diciembre de 2012, el IMPI autorizó el otor-

gamiento de la Patente MX/a/2008/016199 *Proceso de tratamiento biológico aerobio de aguas residuales mediante biocinta sumergida e instalación para su realización.*

Después de entregar la solicitud de la patente, se procedió a la difusión, transferencia y comercialización de la tecnología. Se firmó un convenio con la compañía HI-TECMA, S. A. de C. V. para la fabricación del reactor. Dicha empresa implementó mejoras en el proceso de fabricación de la cinta usada como soporte para la biomasa adherida. Para disminuir aún más el consumo energético se realizaron cambios en el motor reductor. Se desarrollaron tres mo-

delos del reactor para diferentes caudales de agua: 0.5, 0.8 y 1.0 L/s. Las mejoras al reactor se protegieron mediante un modelo de utilidad que fue otorgado al inicio de 2013.

Para difundir los resultados obtenidos con la tecnología desarrollada se invitó a usuarios potenciales para conocerla, se hicieron demostraciones del funcionamiento y cumplimiento de la normativa referente a descargas y reúso urbano del agua, así como presentaciones en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), el Consejo Nacional de Educación Profesional Técnica (Conalep) y gobiernos estatales.

Con apoyo de la Coordinación de Asesores de la Dirección General del IMTA se efectuó el estudio *Evaluación, valuación y plan de negocios de la tecnología BIOSTAR del IMTA*. Para fortalecer la comercialización se firmó una asociación estratégica con HITECMA, S. A. de C. V. y un convenio de licencia para la comercialización, difusión y promoción. Para lograr las primeras transferencias, el IMTA se involucraba directamente; por ejemplo: los primeros reactores se instalaron con apoyo de la SEMARNAT, el CONALEP, el Fondo Nacional de Fomento al Turismo y el estado de Morelos en el Parque Bicentenario de México DF, y en Tepoztlán, Temixco y Emiliano Zapata, Morelos (ilustración 3).



Ilustración 3. Transferencias: a) Escuela en Temixco, Mor., b) Parque Bicentenario de la Ciudad de México.

Después, fueron instaladas más de treinta plantas para: la Comisión Federal de Electricidad en Cuernavaca, Mor.; fraccionamientos habitacionales en Altamira, Tam.; dos en Huejutla, Hgo; dos en Tecamatlán,

Pue.; dos en Cancún, QR; tres en instalaciones de un ingenio en San Luís Potosí; tres en instituciones en Oaxaca, Tlaxcala, Aguascalientes, muelle de Puerta Maya, Cozumel; QR, y otros.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, seguidos por las acciones de transferencia y comercialización, hicieron posible lograr un desarrollo tecnológico novedoso para el tratamiento descentralizado de aguas residuales.

El biorreactor generado es efectivo y compacto, y permite obtener agua tratada de calidad mucho mayor que los sistemas convencionales actualmente utilizados para pequeñas comunidades, y en zonas donde no hay un sistema de recolección de las aguas residuales. De esta manera, se asegura la protección de la salud pública y del medio ambiente, así como la implementación de sistemas de reúso del agua en las comunidades, fraccionamientos habitacionales, centros comerciales y turísticos, hoteles, edificios públicos, escuelas e industrias.

La implementación de la tecnología y su evaluación reveló su sustentabilidad, con beneficios sociales y económicos. La oportunidad de reúso del efluente producto de la tecnología propuesta, es una solución al problema derivado del déficit del agua en las zonas áridas y semiáridas del país.

Bibliografía

CONAGUA. (2011). Estadísticas del agua en México. 2011. México, 2011, 181 pp.

MIJAYLOVA, P. Y MOELLER, G. Tratamiento de aguas residuales mediante biofiltros sumergidos con diferentes materiales de soporte. Informe final. En proyecto TC0606.1 Desarrollos en tratamientos de aguas residuales, Parte B. IMTA, 2006, 57 pp.

Desarrollo de un prototipo de biofiltro sumergido para el tratamiento de aguas residuales de fraccionamientos o casas habitación. Proyecto TC0730.1, IMTA, 2007.

MIJAYLOVA NACHEVA, P.; MOELLER CHÁVEZ, G.; BUSTOS C.; GARZÓN ZUÑIGA, M. A., HORNELAS OROZCO, Y. Comparison of bioreactors with different kinds of submerged packed beds for domestic wastewater treatment. *Water Science and Technology* 58 (1), 2008, pp. 29-36.

MIJAYLOVA NACHEVA P. y MOELLER CHÁVEZ, G. 2010. Wastewater treatment using a novel bioreactor with submerged packing bed of polyethylene tape. *Water Science and Technology* 61 (2), 2010, pp. 481-489.

Patente MX/a/2008/016199 Proceso de tratamiento biológico aerobio de aguas residuales mediante biocinta sumergida e instalación para su realización.

US EPA. Onsite wastewater treatment systems manual. EPA/625/R-00/008. USA, 2002, 370 pp.

Resumen curricular

Petia Mijaylova. Ingeniera Civil por el Instituto Superior de Ingeniería Civil de Sofía, Bulgaria, 1978. Doctora en Ciencias Técnicas por el Instituto Superior de Ingeniería Civil de Moscú, Rusia, 1989. Especialista en la Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales, IMTA. Profesora en el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM (FI-campus Morelos). Investigador Nacional, SNI (Nivel I), miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, titular de la Academia de Ingeniería.

Gabriela Moeller. QFB por la UNAM, 1974. Maestra en Ingeniería Sanitaria por la UNAM, 1978. Doctora en Ingeniería por la UNAM, 1999. Especialista en la Coordinación de Desarrollo Profesional e Institucional del IMTA. Profesora en el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM (Ingeniería Ambiental, FI-campus Morelos). Investigador Nacional, SNI (Nivel I), miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, titular de la Academia de Ingeniería y miembro de la Junta de Gobierno de la UAEM.

G. Mantilla. Ingeniera Civil por la UNAM, 1987. Maestra en Ing. Ambiental por la UNAM, 1990. Doctora en Ciencias Técnicas del Medio Ambiente por la École Nationale des Ponts et Chaussées, Francia, 1995. Especialista en la Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales, IMTA. Profesora en el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM (Ingeniería Ambiental, FI-campus Morelos).

CONTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA DE POSGRADO IMTA A LA SEGURIDAD HÍDRICA

A. Sainz, O. Rodríguez, J. Figueroa y L. Torres

Resumen

El trabajo expone de manera sintética la forma en que los programas de maestría y doctorado del Posgrado del IMTA contribuyen a la seguridad hídrica del país mediante las tesis de grado, orientadas a partir de un enfoque científico-tecnológico e interdisciplinario, al abordaje de problemas complejos del recurso hídrico y a la formulación de alternativas de solución. En tal sentido, se presentan tres ejemplos de tesis: dos de maestría y una de doctorado.

Introducción

En la última década, las naciones han prestado mayor interés a lo que ahora se conoce como “seguridad hídrica”. Así, en el II Foro Mundial del Agua, celebrado en el 2000, se generó la primera declaración intergubernamental sobre seguridad hídrica, con el gran reto de garantizar que los ecosistemas de agua dulce y costeros, así como los relacionados con estos, estuvieran protegidos y mejorados; que se promoviera el desarrollo sostenible y la estabilidad política; que todas las personas tuviesen acceso a suficiente agua, a un costo asequible, para desarrollar una vida saludable y productiva, y que las personas vulnerables fueran protegidas de los riesgos relacionados con el agua (UNEP).

Con relación a la educación, el Plan Estratégico 2014-2021 del Programa Hidrológico Internacional (PHI) establece que ésta y la cultura del agua son claves para la seguridad hídrica, y señala que es necesario continuar con los esfuerzos ya realizados a fin de mejorar y actualizar la educación hídrica en todos los niveles, e interpretarse en un sentido más amplio de las ciencias hidrológicas y las ciencias relacionadas. Dentro de la VIII Fase del PHI, incluye un enfoque multidisciplinario e interdisciplinario cuyo objetivo es lograr avances en el conocimiento científico mediante la capacitación de especialistas en ciencia, así como fortalecer y mejorar el sector hídrico a través de la formación de profesionistas en el sector y responsables en la toma de decisiones. Asimismo, fomenta acciones destinadas a integrar los recursos hídricos como un componente fundamental de los programas educativos (UNESCO, 2012:41-42).

Los programas de Posgrado del IMTA

En el contexto de lo expuesto, podemos señalar que la orientación de los programas de Posgrado del IMTA tiende a atender, tanto las áreas prioritarias del sector hídrico como los problemas que enfrenta, y que muchos de los resultados de sus trabajos de tesis plantean alternativas de solución o mejora.

Por ejemplo, el Programa de Maestría en Ciencias del Agua señala que los egresados tendrán la capacidad de proponer, formular y aplicar soluciones integrales e innovadoras basadas en conocimientos interdisciplinarios, principalmente de las ciencias exactas y sociales, así como de las humanidades, para apoyar la gestión de los recursos hídricos o el estudio de los fenómenos hidrometeorológicos que conlleven a la conservación del agua, su infraestructura y a la mitigación de impactos.

Por su parte, el Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua establece como objetivo que los egresados tendrán la capacidad de generar, desarrollar y aplicar conocimientos teóricos y metodológicos que contribuyan al estado del arte en las ciencias y disciplinas dedicadas a estudiar, conservar y aprovechar el recurso agua, y promover su gestión a través del planteamiento, desarrollo y evaluación de proyectos en su línea de investigación, así como de dirigir y consolidar grupos dedicados a la investigación básica o aplicada, promoviendo el trabajo interdisciplinario.

Tesis de grado

Con objeto de ejemplificar lo señalado en el apartado anterior, a continuación reseñamos brevemente trabajos de tesis de egresados, los cuales, bajo diversos propósitos, perspectivas teórico-metodológicas y objetos de estudio, buscan contribuir a la seguridad hídrica de alguna región del país.

Adaptación de una técnica de ELISA para la detección de atrazina en agua (Millán, 2009).

Programa: Maestría en Ciencias y Tecnolo-

gía del Agua (Sistemas Ambientales).

Propósito: Adaptar un método inmunológico ELISA para la detección de atrazina en agua, como una alternativa a los costosos y complicados métodos tradicionales.

Resumen: La atrazina es el herbicida más utilizado en los Estados Unidos para el control de crecimiento de malezas en diversos cultivos, mientras que en varios países de Europa su uso está prohibido o severamente restringido. Su cuantificación puede realizarse utilizando cromatografía de gases, cromatografía líquida o espectroscopía infrarroja que requieren de equipos costosos, personal muy calificado, mucho tiempo y no puede hacerse en campo. En México, la atrazina tiene usos registrados para el control o combate de malezas en caña de azúcar, maíz, piña y sorgo, así como en plantas formuladoras, pero lo más grave es que la legislación sobre el uso de plaguicidas sólo está planteada como iniciativa.

Este herbicida es liberado al ambiente al aplicarlo en los campos de cultivo, terrenos de barbecho y durante su producción y distribución. El receptor más importante, por tanto, es el suelo y se estima que entre el 2.4 y 14% se volatiliza a la atmósfera; a través del aire se transporta y regresa al suelo por medio de la lluvia. Con los escurrimientos agrícolas o las precipitaciones llega a cuerpos receptores, contaminando sus aguas y sedimentos. Por medio del suelo puede llegar a las aguas subterráneas. Se ha clasificado la atrazina como un “no carcinógeno” en humanos, pero se reconocen afectaciones en la salud en personas expuestas a niveles mayores al permisible, aun por tiempos cortos. Los efectos pueden ser: congestión de cora-

zón, pulmones y riñones; baja presión sanguínea; pérdida de peso; daño glandular, y degeneración de retina y muscular.

El trabajo presenta los resultados de conjugar un hapteno sintetizado y la enzima peroxidasa para obtener un marcador enzimático que permite cuantificar la concentración de atrazina en una muestra de agua. La funcionalidad del método propuesto fue exitosa para un rango de concentraciones, pero tiene uso potencial para evaluaciones cuantitativas u otros intervalos de concentraciones. Esto permitiría apoyar la detección de contaminantes en el agua de manera rápida, eficiente y a bajo costo, en apoyo a la línea de acción “Servicios de agua adecuados y accesibles”, de la actual política nacional en materia de agua, lo que contribuye a brindar agua de calidad y disminuir los riesgos en la salud.

Dinámica de tormentas invernales sobre la República Mexicana (Ramírez, 2012).

Programa: Maestría en Ciencias del Agua (Hidrometeorología y Meteorología Operativa).

Propósito: Desarrollar un sistema de alerta que permita identificar el desarrollo potencial de tormentas invernales y proponer medidas preventivas para mitigar los efectos adversos.

Resumen: Las tormentas invernales (TI) son eventos meteorológicos que se presentan con mayor intensidad en las zonas norte y centro de México y pueden afectar el resto del territorio nacional, ocasionando granizadas, nevadas, heladas y lluvias intensas, además de contribuir con descensos significativos de temperatura y aumento de la rapidez del viento en superficie. Cada año, los efectos de las TI ocasionan importantes

pérdidas económicas al país, principalmente a la infraestructura, comunicaciones, transporte, comercio, ganadería, agricultura y a la sociedad en general, ya que aunado al gran impacto económico negativo se suman los decesos ocasionados por hipotermia, asfixia, enfermedades estacionales, inundaciones y deslaves, entre otros. De acuerdo con registros oficiales, durante los últimos años las bajas temperaturas en México son uno de los efectos derivados de fenómenos hidrometeorológicos que más muertes ocasiona, por lo que la Secretaría de Gobernación dispuso apoyos económicos a las entidades afectadas. El impacto adverso ligado a las TI ha mostrado la importancia de la información oportuna, constante y confiable dentro de este ámbito, para proteger y mitigar las afectaciones que puedan presentarse en diversos sectores vulnerables.

El algoritmo de detección de TI desarrollado presenta una alternativa para que los organismos responsables y autoridades puedan implementarlo de manera operativa para realizar su detección a siete o más días, estableciendo el sistema de alerta temprana y medidas de contingencia ante afectaciones asociadas a este tipo de fenómenos. El sistema desarrollado responde directamente a la línea de acción “Seguridad hídrica”, recientemente establecida por la Presidencia de la República como parte de una estrategia integral para reducir la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Vulnerabilidad y gestión de riesgos por deslizamientos e inundaciones en la cuenca superior del río Huehuetán, Chiapas (Arellano, 2012).

Programa: Doctorado en Ciencias y Tecno-

logía del Agua.

Propósito: Contar con una herramienta metodológica basada en el enfoque de Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), para reducir la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos en una cuenca de México.

Resumen: La cuenca superior del río Huehuetán en el estado de Chiapas ha sido vulnerable al impacto de lluvias extremas que han generado procesos hidrológicos de lluvia-escurrimiento extraordinarios, que a su vez han ocasionado erosión hídrica, fuerte arrastre de sedimentos, deslizamiento e inundaciones. Particularmente, las precipitaciones extremas de 1998 y 2005 provocaron en las subcuencas y en las comunidades severos daños; los ecosistemas, agricultura, infraestructura y economía regional se vieron fuertemente afectados, llevando a condiciones de marginación y pobreza que nuevamente colocó a la región en condiciones de alta vulnerabilidad ante nuevas amenazas. Estas experiencias mostraron, asimismo, la ineficacia de las políticas públicas relacionadas con la protección civil al mostrarse una acción reactiva y de reconstrucción sin indagar en las causas, por lo que resultó pertinente indagar alternativas de control sustentables que privilegien la prevención de desastres.

En la investigación se desarrolló una metodología para evaluar socioambientalmente la vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones a nivel de microcuenca, con apoyo de álgebra de mapas. Dicha vulnerabilidad se estima como una función de la vulnerabilidad a: erosión hídrica actual, deslizamientos, inundaciones y vulnerabilidad social. De igual forma, se abordó la experiencia de agricultores de la cuenca

en el desarrollo e innovación tecnológica de prácticas agrícolas para el control de la erosión hídrica.

Como resultado, el enfoque de GIRH permitió la gestión de riesgos generados por lluvias extremas, particularmente deslizamientos e inundaciones, identificándose las microcuencas con mayor riesgo de sufrir deslizamientos. También, se demostró que las condiciones de cobertura vegetal y prácticas de manejo y conservación de suelo adecuadas contribuyen a disminuir significativamente daños. En conjunto, se cuenta con una herramienta que bajo un enfoque ecosistémico permite una evaluación integral de la vulnerabilidad, para entonces jerarquizar las áreas de intervención y acciones de mitigación, que contribuyen directamente a la línea de acción “Seguridad hídrica” de la actual administración, como parte de la estrategia integral para reducir la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos.

Conclusiones y recomendaciones

Los ejemplos de las tesis desarrolladas en los programas de Posgrado del IMTA permiten observar la atención dada a problemas que enfrenta el recurso hídrico en nuestro país, la formulación de alternativas de solución y su potencial transferencia a los actores pertinentes, en pro de la seguridad hídrica. Lo anterior muestra la importancia de la formación de corte interdisciplinario de los recursos humanos, que incida en la creación de conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación, tal como lo establece el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el Marco de Referencia para la Evaluación y Seguimiento de Programas de Posgrado.

Bibliografía

ARELLANO, J. L. *Vulnerabilidad y gestión de riesgos por deslizamientos e inundaciones en la cuenca superior del río Huehuetán, Chiapas*. Jiutepec: IMTA, 2012, 447 pp.

MILLÁN, D. V. *Adaptación de una técnica de ELISA para la detección de atrazina en agua*. Jiutepec: IMTA, 2009, 72 pp.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN. *Plan Estratégico 2014-2021 del Programa Hidrológico Internacional*. 2000, 53 pp.

RAMÍREZ, R. *Dinámica de tormentas invernales sobre la República Mexicana*. Jiutepec: IMTA, 2012, 62 pp.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) [en línea]. *Declaración Ministerial Sobre la Seguridad del Agua en el Siglo XXI*. Disponible para World Wide Web: <http://www.unep.org/geo/GEO3/spanish/274.htm>

Resumen curricular

Alejandro Sainz Zamora. Licenciado en Sociología de la Educación por la UNAM y doctor en Educación por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Educación Superior.

Olivia Rodríguez López. Licenciada en Ciencias Atmosféricas por la Universidad Veracruzana y maestra en Ciencias por la UNAM, Fenómenos Hidrometeorológicos.

Jesús Figueroa Vázquez. Ingeniero mecánico por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y estudios de maestría en Ingeniería por la UNAM, Gestión Pedagógica.

Lydia Torres Alvarado. Ingeniera industrial por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y estudios de maestría en Ingeniería por la UNAM, Gestión Pedagógica.

PRODUCCIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA EL ESTADO DE DURANGO: PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO, Y CONTAMINANTES DEL AGUA

J. Flores y C. M. Espinosa

Resumen

Este trabajo presenta un reporte de intervención consistente en la elaboración de dos materiales didácticos que llevan por título *Proceso de distribución de agua potable y tratamiento y Contaminantes del agua*. Dichos materiales fueron elaborados para la Comisión del Agua del Estado de Durango (CAED), quien los emplea en los Espacios de Cultura del Agua (ECA) de los diversos municipios del estado.

Introducción

Todos los municipios de Durango cuentan con un organismo operador. Un problema que enfrentan es que los usuarios no hacen su pago de manera oportuna por los servicios proporcionados, lo cual afecta a los organismos de manera significativa al no tener recursos suficientes para proporcionar el servicio de agua potable, vital para cualquier sociedad. Asimismo, los organismos operadores tienen interés en que la sociedad conozca y comprenda los servicios que proporcionan, con el objetivo de que, gradualmente, se adquiera concien-

cia sobre la importancia que tiene el proceso de agua potable y tratamiento para su uso y consumo sustentable y así evitar diversas enfermedades hídricas. Los materiales didácticos tienen como propósito que los usuarios conozcan y comprendan la importancia que guardan los trabajos, actividades e inversión que un organismo operador debe realizar para extraer y trasladar agua para consumo humano desde diversas fuentes de abastecimiento, potabilizarla, almacenarla, distribuirla y tratar el agua residual, así como que conozcan y comprendan el daño que provoca el agua contaminada en la salud de las personas y en los ecosistemas.

Resultados

Proceso de distribución de agua potable y tratamiento

Este material didáctico (MD) tiene como propósitos que el ciudadano (Informe final del proyecto, 2011):

- Conozca y comprenda la importancia que tienen los trabajos, actividades e

inversión que un organismo operador debe realizar para extraer y trasladar agua para consumo humano desde diversas fuentes de abastecimiento, potabilizarla, almacenarla, distribuirla y tratar el agua residual.

- Comprenda la trascendencia que tiene su participación como usuario (consumidor de agua) en el ahorro, conservación, disminución de los contaminantes y generación de agua residual.
- Comprenda la importancia que tiene el pago mensual o bimestral en el sostenimiento y mejoramiento de la calidad de los servicios que un organismo operador proporciona.

Dicho MD está integrado por un tablero y tarjetas imantadas, y un manual. El tablero (ilustración 1) tiene como fondo la orografía de Durango.

Por medio de imágenes se representa el proceso de distribución de agua potable y tratamiento. En siete columnas se indican las etapas de este proceso: captación, potabilización, almacenamiento, distribución, alcantarillado, tratamiento y descarga.

Las tarjetas imantadas son fichas que describen a un organismo operador. Se tienen fichas que indican la etapa de captación, representada por: pozos profundos, tomas de presa, galerías filtrantes, manantiales, etc. La potabilización representada con una planta de cloración. El almacenamiento a través de Tanques. La distribución se indica a través de metros lineales de red y de tomas. El alcantarillado y tratamiento con plantas de tratamiento y metros lineales de la red drenaje.



Ilustración 1. Proceso de distribución de agua potable y tratamiento.

De igual forma, contiene fichas que indican el personal que labora en un organismo, así como fichas de pesos para indicar los diversos costos que implica todo el proceso de distribución y tratamiento del agua.

El manual contiene los propósitos de este material didáctico: el porqué de su uso en Durango; el procedimiento que se debe seguir; cuadros donde se describe la información sobre la infraestructura hidráulica de los municipios de Durango; información sobre población, vivienda y número de viviendas con agua de la red pública, y una descripción de cada una de las fichas por etapas y la cantidad de fichas con las que cuenta este material. Al final, se tiene un glosario que facilita la comprensión de los términos utilizados.

Contaminantes del agua

Los propósitos de este MD (Informe final del proyecto, 2011) es que el participante:

- Conozca y comprenda el tipo de contaminantes que contiene el agua, los cuales deben ser eliminados para que las familias la utilicen en el hogar, el municipio en los servicios que proporciona, así como su uso en la industria, agricultura y ganadería.
- Comprenderán que es importante la eliminación de los contaminantes en el agua para que ésta pueda ser reintegrada a los cuerpos receptores.
- Comprenderán el daño que provoca el agua contaminada en la salud de las personas, comunidades y ecosistemas.
-

Este material está integrado por un tablero y tarjetas imantadas y un manual. El tablero imantado (ilustración 2) tiene de

fondo el mapa de las regiones hidrológicas de Durango y, sobre éste, los nombres de los contaminantes orgánicos, no orgánicos, emergentes y persistentes.

Las tarjetas imantadas son fichas del juego que contienen el nombre de los contaminantes: metales, detergentes, biocidas, nutrientes, industriales, patógenos, hidrocarburos y sus derivados, subproductos de la desinfección y emergentes.

Asimismo, el manual contiene los propósitos, antecedentes, procedimiento para llevar a cabo la actividad, descripción de las fichas del juego, los contaminantes típicos de las aguas y una descripción de cada uno de los contaminantes donde se señala el uso que se les da y sus efectos en la salud.



Ilustración 2. Contaminantes del agua.

Conclusiones y recomendaciones

El material didáctico busca intervenir y facilitar el proceso de enseñanza- aprendizaje cuando el promotor de un ECA y usuario interactúan.

Por la forma en que está estructurado, este material didáctico va a facilitar la comunicación entre el promotor de un ECA y el usuario. Como se utilizan imágenes alusivas al estado y lo que hace el organismo, despertará el interés del usuario, además de que se adecua a las características físicas y psicológicas del usuario y facilita la actividad.

Si bien el MD es una variable dependiente de los propósitos de aprendizaje y de la metodología empleada, es un buen medio que puede incidir en la sensibilización de los usuarios en torno a los servicios que un organismo operador lleva a cabo y que inciden en la salud de la sociedad.

Bibliografía

CABERO, JULIO. Tecnología educativa, diseño y utilización de medios para la enseñanza. España: Paidós, 2001, p. 290.

Manual de operación para el programa de cultura del agua. México: Semarnat, 2011.

Informe final del proyecto. Realización de cuatro cursos de capacitación a personal de cultura del agua de los municipios de Durango y producción de material didáctico para cinco regiones del estado, México: IMTA, 2011.

Resumen curricular

Joaquín Flores Ramírez. Licenciado (1987) y maestro en Pedagogía (200) por la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). Actualmente, labora en la Subcoordinación de Educación y Cultura del Agua del IMTA. Sus áreas de investigación son cultura del agua, educación ambiental y formación de instructores y promotores.

Claudia Magdalena Espinosa García. Cursó la licenciatura en Planificación para el Desarrollo Agropecuario en Universidad Nacional Autónoma de México, y la maestría en Comunicación Institucional en el Centro Avanzado de Comunicación Eulalio Ferrer. Actualmente es subcoordinadora de Educación y Cultura del Agua del IMTA. Sus áreas de investigación son la educación ambiental y la cultura del agua.

HUELLA HÍDRICA, POLÍTICAS PÚBLICAS Y SOBERANÍA ALIMENTARIA

R. Vázquez del Mercado y R. Uribe

Resumen

En junio de 2011 el IMTA se afilió a la Red de la Huella Hídrica, la cual promueve una transición hacia un uso sostenible, justo y eficiente del agua dulce en todo el mundo. Lo anterior, a fin de compenetrarse más en el tema y colaborar con ese objetivo mediante la divulgación del concepto “huella hídrica” en México. A mayo de 2013 se han impartido 15 cursos y ocho conferencias a un total de 964 participantes. Adicionalmente, se presentó una ponencia en un congreso nacional y se publicó un artículo en una revista arbitrada.

La huella hídrica es un concepto reciente, muy relevante para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y para el establecimiento de políticas hídricas, agropecuarias y comerciales en todo el mundo. Permite visualizar patrones y tendencias de uso del agua que tradicionalmente no eran tomados en cuenta y relacionarlos con el flujo de comercio de agua virtual. Este comercio no sólo genera un importante consumo de agua en los países exportadores, sino que además tiene una serie de costos sociales y ambientales que muchas veces se pasan por alto y no se reflejan en el precio que pagan los países importadores, lo que hace necesario estudiar más a fondo la relación entre el comercio de agua virtual, la escasez de agua y la soberanía alimenta-

ria. No obstante, el comercio internacional puede ayudar a conseguir un uso más eficiente del agua a escala global. Durante el periodo 1996-2005, México fue el principal importador de agua virtual de América, tanto en comercio agrícola como en ganadero e industrial, ocupando además el segundo lugar en el mundo. Su dependencia hídrica del exterior fue de 42.5%, cuando el promedio mundial fue de 21.7%. En cuanto a la huella hídrica del consumo nacional, la de México fue equivalente al 2.3% de la huella hídrica global, ubicándose como el octavo país con mayor huella hídrica. Por lo que respecta a la huella hídrica del consumo nacional per cápita, la de México fue 42.8% mayor que el promedio mundial. El principal reto para reducir la huella hídrica de las naciones será cambiar hábitos de consumo, tanto de agua como de bienes y productos en general, así como establecer mejores prácticas y tecnologías que permitan un uso más eficiente de agua. La educación ambiental e hídrica tendrá un papel determinante. También, será necesario incrementar el número de estudios y especialistas en el tema para ayudar a las naciones a mejorar su toma de decisiones de política hídrica, agrícola y comercial, y a promover un mejor uso del agua nacional, regional y global. Es importante que el IMTA continúe su labor de divulgación y que establezca el tema como línea de investigación.

Introducción

Tradicionalmente se ha considerado al agua como un recurso nacional o, en el caso de cuencas compartidas, internacional, pero difícilmente se reconoce el agua como un recurso global. Incluso se recomienda, para una buena gobernanza, que las decisiones de asignación de los recursos hídricos sean tomadas al nivel apropiado más bajo, atendiendo al principio de subsidiariedad. Los especialistas en recursos hídricos normalmente abordan la demanda de agua en función de las necesidades de los usuarios de la región de que se trate, sin tomar en cuenta la demanda de productos de exportación. Por otro lado, los economistas usualmente no consideran las implicaciones del comercio internacional para el sector agua. No obstante, el intenso comercio de agua virtual y sus consecuencias, tanto en los países exportadores como en los importadores, hacen necesario estudiar más a fondo la relación entre el comercio de agua virtual, escasez de agua y soberanía alimentaria.

Es un hecho que grandes volúmenes de agua se emplean y contaminan para producir bienes de exportación. Sin embargo, las reglas del comercio internacional no toman en cuenta el uso sostenible del agua en los países productores, bajo el principio de “no discriminación”, entre productos similares. El comercio de agua virtual, a través de productos con altos requerimientos hídricos, no sólo genera un importante consumo de agua en los países exportadores, sino que además tiene una serie de costos sociales y ambientales que muchas veces se pasan por alto y no se reflejan en el precio que pagan los países importadores. Por otro lado, para los

países importadores, el comercio de agua virtual constituye un “ahorro” de agua, que no tuvieron que utilizar para obtener los bienes en cuestión, a costa de una mayor dependencia del exterior y una menor soberanía alimentaria. Esto último puede ser inevitable en el caso de naciones con insuficientes recursos hídricos.

Los conceptos de agua virtual y de huella hídrica parecen apuntar a un cambio de paradigma en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y en las políticas hídricas, agropecuarias y comerciales en todo el mundo. Su estudio ayuda a identificar cómo y dónde, el consumo en un lugar, impacta los recursos hídricos de otro lugar. La huella hídrica indica, además del volumen de agua dulce empleado directa e indirectamente para producir un bien, el lugar preciso donde se obtuvo dicho volumen, especificando si se trató de agua verde o azul, la contaminación que generó y el lugar en que se consumió ese bien finalmente. De esta forma, permite visualizar patrones y tendencias de uso del agua –que tradicionalmente no eran tomados en cuenta–, relacionándolos con los flujos de comercio de agua virtual.

El comercio internacional puede ayudar a conseguir un uso más eficiente del agua a escala global si se exportan bienes de altos requerimientos hídricos de una nación con alta productividad hídrica (menor volumen de agua por tonelada de producto), a una nación con menor productividad. Según un estudio sobre la huella hídrica de la humanidad (Hoekstra y Mekonnen, 2012), la producción agrícola contribuyó en un 92% a la huella hídrica total en el periodo 1996-2005. Una quinta parte de dicha producción estuvo destinada a la expor-

tación. El volumen global de “ahorro” de agua debido al comercio de agua virtual de productos agrícolas fue equivalente al 4% de la huella hídrica global de la producción agrícola.

En el periodo 1996-2005, América Latina presentó grandes contrastes. Argentina y Brasil fueron los grandes exportadores de agua virtual de la región, ocupando además el segundo y quinto lugar en el mundo, respectivamente. Por otro lado, México fue el principal importador de agua virtual de la región, tanto en comercio agrícola como en ganadero e industrial, ocupando además el segundo lugar en el mundo, superado únicamente por Japón. Su dependencia hídrica del exterior fue de 42.5%, cuando el promedio mundial fue de 21.7%. Otros países de la región que tienen una dependencia hídrica superior al promedio global son: Chile, Costa Rica, El Salvador, Panamá, Perú, República Dominicana y Venezuela. Es importante que todos estos países estudien con detalle la relación entre sus recursos hídricos, sus políticas públicas y su comercio. En cuanto a la huella hídrica del consumo nacional, América Latina concentró, durante el periodo citado, el 10.5% de la huella hídrica global con el 8.2% de la población mundial. El volumen correspondiente a México fue equivalente al 2.3% de la huella hídrica global, con el 1.6% de la población mundial. Lo anterior coloca a México como el octavo país con mayor huella hídrica del mundo. En cuanto a la huella hídrica del consumo nacional per cápita de México, ésta fue de 1,978 m³ al año, mientras que el promedio global fue de 1,385 m³. Es decir, la de México fue 42.8% mayor que el promedio mundial. Otros países de la región por encima del

promedio mundial son: Bolivia, Uruguay, Brasil, Ecuador y Paraguay, mientras que Nicaragua, Guatemala y El Salvador reportaron las menores huellas hídricas.

El principal reto para reducir la huella hídrica de las naciones será cambiar hábitos de consumo, tanto de agua como de bienes y productos en general, así como establecer mejores prácticas y tecnologías que permitan un uso más eficiente de agua. La educación ambiental e hídrica tendrá un papel determinante. También, será necesario incrementar el número de estudios y especialistas en el tema para ayudar a las naciones a mejorar su toma de decisiones de política hídrica, agrícola y comercial, y a promover un mejor uso del agua nacional, regional y global. Por ello, es importante fomentar la capacitación en el tema, su difusión y el desarrollo de estudios e investigaciones que permitan validar, actualizar y mejorar la información existente, así como el análisis de las tendencias en los próximos años.

Resultados

En junio de 2011 el IMTA se afilió a la Red de la Huella Hídrica, con sede en los Países Bajos, la cual promueve una transición hacia un uso sostenible, justo y eficiente del agua dulce en todo el mundo mediante:

- El avance del concepto de “huella hídrica”, indicador explícito, espacial y temporalmente, del uso directo e indirecto de agua por consumidores y productores.
- El incremento de la conciencia sobre la huella hídrica en comunidades, organizaciones gubernamentales y empre-

sas, así como el entendimiento de la forma en que el consumo de bienes y servicios y las cadenas de producción, se relacionan con el uso del agua y su impacto en los sistemas hídricos de agua dulce.

- El fomento de formas de gobernanza que reduzcan los impactos negativos, ecológicos y sociales, de las huellas hídricas de las comunidades, países y empresas.

Lo anterior, a fin de compenetrarse más en el tema y colaborar con esos objetivos mediante la divulgación del concepto de huella hídrica en México a través de cursos cortos. A mayo de 2013 se han impartido 15 cursos y ocho conferencias a un total de 964 participantes provenientes de diferentes niveles de gobierno, industrias, universidades, empresas de consultoría y organizaciones no gubernamentales, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Capacitación y divulgación sobre huella hídrica 2011-2013.

Año	Cursos	Asistentes	Conferencias	Asistentes	Total de eventos	Total de asistentes
2011	8	125	1	224	9	349
2012	7	114	4	344	11	458
2013	0	0	3	157	3	157
Total	15	239	8	725	23	964

Adicionalmente, se publicó el artículo “Huella hídrica de América Latina: retos y oportunidades”, en la revista del Programa Hidrológico Internacional, *Aqua-LAC*, y se presentó la ponencia “Huella hídrica: del concepto a lo cotidiano” (que aborda una estrategia educativa) en el XII Congreso Nacional de Hidráulica. También, se participó en dos cursos sobre el tema, uno impartido por el Banco Mundial y el otro por el Centro del Agua para América Latina y el Caribe (FEMSA-Tec-BID).

Conclusiones y recomendaciones

Difícilmente se reconoce el agua como un recurso global. Sin embargo, el intenso comercio de agua virtual y sus consecuencias, tanto en países exportadores como

importadores, hacen necesario estudiar más a fondo la relación entre el comercio de agua virtual, escasez de agua y soberanía alimentaria.

El comercio de agua virtual afecta de manera importante la disponibilidad de recursos hídricos de los países, ya sea incrementándola, en el caso de los países importadores, o reduciéndola, en el caso de los países exportadores. Sin embargo, usualmente no se toma en cuenta en la planeación hídrica. Muchos problemas hídricos, como la sobreexplotación y la contaminación, están estrechamente vinculados al comercio internacional.

Es posible conseguir un uso más eficiente del agua a escala global si se exportan

bienes de altos requerimientos hídricos de una nación con alta productividad hídrica (menor volumen de agua por tonelada de producto), a una nación con menor productividad.

El principal reto para reducir la huella hídrica de las naciones será cambiar hábitos de consumo, tanto de agua como de bienes y productos en general, así como establecer mejores prácticas y tecnologías que permitan un uso más eficiente de agua. La educación ambiental e hídrica tendrá un papel determinante. También, será necesario incrementar el número de estudios y especialistas en el tema para ayudar a las naciones a mejorar su toma de decisiones de política hídrica, agrícola y comercial, y a promover un mejor uso del agua nacional, regional y global.

Es importante que el IMTA continúe su labor de divulgación, forme cuadros especializados y establezca el tema como línea de investigación interdisciplinaria.

Bibliografía

AGRODER. *Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. México, DF: WWF México y AgroDer, 2012.

HOEKSTRA, A.Y. y CHAPAGAIN, A.K. *Globalization of Water Resources: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Londres: Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, ARJEN Y. y MEKONNEN, MESFIN M. *The Water Footprint of Huma-*

nity. University of Twente, Países Bajos. Oakland, California: Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2012.

MEKONNEN, M.M. y HOEKSTRA, A.Y. *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption*. En *Value of Water Research Report Series No. 50*, Apéndice II, Virtual-water Flows Related to Trade in Crop, Animal and Industrial Products, Per Country (Mm³/yr). Delft, Países Bajos: UNESCO-IHE, 2011.

_____. *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption*. En *Value of Water Research Report Series No. 50*, apéndices VIII y IX. Delft, Países Bajos: UNESCO-IHE, 2011.

URIBE, ROSALINDA Y LAMBARRI, JAVIER. *Huella hídrica: del concepto a lo cotidiano*. *Memorias del XII Congreso Nacional de Hidráulica*. Acapulco, Guerrero, 2012.

VÁZQUEZ DEL MERCADO, RITA Y BUENFIL, MARIO. 2013. *Huella hídrica de América Latina: retos y oportunidades*. En *Aqua-LAC*, Vol. 4, No. 1, Montevideo, 2013, pp. 41-48.

Resumen curricular

Rita Vázquez del Mercado Arribas. Licenciada en Administración y maestra en Calidad por la Universidad La Salle (DF) (1985) (2003). Cuenta con un diplomado en Desarrollo Organizacional por la Universidad La Salle Cuernavaca (1998). Trabaja en el IMTA desde 1992 y en educación ambiental e hídrica desde 1999. Es Coordinadora Regional Adjunta del Programa Agua y Educación para las Amé-

ricas y el Caribe, iniciativa conjunta del Programa Hidrológico Internacional y del Proyecto WET. Correo: rvazquez@tlaloc.imta.mx

Rosalinda Uribe Visoso. Psicóloga por la Universidad Veracruzana (1981) y maestra en Administración por el ITESM (1999).

Cuenta con una Especialidad en Salud Pública por la Universidad Veracruzana (1982) y una especialidad en Ejercicio de la Docencia por el Centro de Investigaciones y Servicios Educativos (1988). Trabaja en el IMTA desde 1992 y en cuestiones de educación ambiental e hídrica desde 1999. Correo: ruribe@tlaloc.imta.mx

ELABORACIÓN DE LOS PLANES DE GESTIÓN INTEGRAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS: CINTALAPA-LA VENTA, HUIXTLA Y SAN NICOLÁS, CHIAPAS

R. Piña

Resumen

Contratado por el Instituto Estatal del Agua de Chiapas (Inesa), en 2012 el IMTA elaboró los planes de Gestión Integral para tres cuencas de la costa de este estado, a partir de la información proporcionada por la Comisión Nacional de Agua (Conagua) en documentos base de las políticas hídricas nacional, regional y estatal, así como por medio de talleres participativos con los principales involucrados, organizados y dirigidos por el IMTA en cada cuenca, en los que se analizaron y definieron las acciones necesarias para lograr la sustentabilidad social, económica y ambiental. En cada Plan se establecieron los lineamientos y estrategias de corto, mediano y largo plazos para un uso sustentable del agua y el abastecimiento seguro a sus diferentes usuarios, así como los catálogos de proyectos que permitirán lograr la visión altamente deseable de contar con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, cobertura universal de agua potable, alcantarillado y saneamiento, y ciudades no vulnerables a inundaciones catastróficas en cada cuenca.

Introducción

El Inesa y el Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS) de la Conagua, vieron la necesidad de conducir proyectos integrales que fueran la base de análisis para la planeación de acciones emprendidas por el estado, en especial por los comités de cuenca de esta región, por lo que se planteó la realización de los planes de Gestión Hídrica de las cuencas del río Cintalapa-La Venta, río Huixtla y río San Nicolás, a fin de definir la política regional en materia de agua para un horizonte al año 2030, con la colaboración del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

De esta manera, el objetivo principal del proyecto fue elaborar los planes de Gestión Hídrica en las cuencas señaladas, con la participación institucional y de los principales involucrados, a fin de analizar, definir y jerarquizar las acciones necesarias localmente para lograr la sustentabilidad social, económica y ambiental, de acuerdo con los ejes rectores de las políticas hídricas nacional, regional y estatal, entonces vigentes.

A continuación, se presentan brevemente las principales actividades desarrolladas, así como los resultados obtenidos, de manera general, en las tres cuencas estudiadas.

Resultados

Con base en los principios del enfoque sistémico y la Gestión Integrada del Agua, se definió la metodología para desarrollar el proyecto, y se llevó a cabo cada una de sus fases:

Primeramente, se identificaron los diferentes actores que deberían intervenir en el proceso, con el equipo de apoyo del personal del Inesa y del OCFS. Entre estos participaron, además de los usuarios y otros actores clave de cada cuenca, los representantes de industriales, ganaderos y pequeños agricultores, así como de algunas comunidades; asimismo, del ayuntamiento, la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) y la Secretaría de Educación Pública (SEP), entre otros. Luego, se desarrollaron las siguientes actividades:

Recopilación y revisión de la información disponible en el Inesa y la Conagua, en relación con aspectos técnicos, administrativos, económicos, financieros y legislativos que tuvieran que ver con los recursos hídricos y ambientales de las cuencas señaladas, para hacer una breve descripción del marco de referencia del estudio y de sus objetivos y alcances, así como del área de trabajo considerando elementos tales como: localización geográfica, características de la población (componente social),

estructura económica productiva, componente ambiental, definición de unidades territoriales y análisis de la normativa vigente relacionada.

Definición de la problemática y objetivos, apegada a los cuatro ejes previstos en la Agenda del Agua Visión 2030. Para esto, se llevaron a cabo los primeros talleres participativos con los principales involucrados en cada cuenca (en los que se aplicó la metodología de planeación ZOPP, con algunas variantes), a fin de considerar los comentarios y opiniones vertidas por los distintos usuarios del agua y actores clave. Se integraron y analizaron las principales causas de la problemática respecto al uso y aprovechamiento del recurso hídrico en las cuencas, así como los objetivos correspondientes para alcanzar en el corto, mediano y largo plazos.

Aplicando con flexibilidad la metodología diseñada para estos talleres participativos, se programó y realizaron las invitaciones correspondientes (por parte del Inesa y la Conagua), y se consiguieron instalaciones con apoyo de los ayuntamientos de las cabeceras municipales principales de cada cuenca: Cintalapa, Mapastepec y Huixtla.

En cada taller participativo se les hizo una presentación del marco de referencia del tema a tratar y del objetivo: contar con la participación institucional y de los principales involucrados en cada cuenca, a fin de analizar, definir y jerarquizar los problemas principales localmente en relación con el agua, para lograr las sostenibilidades social, económica y ambiental, de acuerdo con los ejes rectores de las políticas hídricas nacional, regional y estatal.

Los principales problemas señalados en estos primeros talleres, se pueden sintetizar en:

- Alta deforestación, azolvamiento del río, saqueo de materiales pétreos, cambio de uso de suelo, mal aprovechamiento de agua para riego, falta de capacitación y asesoría, y manejo inadecuado de basura.
- Descargas de agua residual en los ríos, contaminación de ríos subterráneos, plantas de tratamiento que no funcionan, contaminación por mala ubicación del basurero y escasa medición de parámetros de calidad del agua.
- Localidades sin sistema de agua; infraestructura ineficiente; falta de mantenimiento de letrinas, norias y pozos someros; falta de potabilización; sistema tarifario inadecuado, y falta de capacitación y educación ambiental.
- Desbordamiento de ríos por falta de obras de protección, inundaciones por falta de drenaje fluvial, deslaves y bloqueos de caminos, azolve de arroyos cada año, daños por inundación sin información y asentamientos humanos en zonas peligrosas.

Siguiendo con la metodología propuesta en los segundos talleres, se plantearon a los asistentes los principales problemas definidos en el primer taller, para que a partir de su análisis se determinaran las acciones estratégicas necesarias de llevar a cabo. Posteriormente, se hizo un ejercicio para jerarquizar las acciones definidas. De esta manera, se determinaron los siguientes grupos de acciones prioritarias:

- a) Desarrollo de infraestructura para riego, trabajos de conservación de

suelos, relleno sanitario en basureros, reforestación más intensiva, estudios geohidrológico y de balance de aguas subterráneas, rectificación y ampliación de cauces, mejorar las obras de captación y concientizar sobre el buen uso del agua.

- b) Reubicación del basurero municipal y tener relleno sanitario, construcción, rehabilitación y mantenimiento de plantas de tratamiento, construcción de fosas sépticas ecológicas en zonas rurales, y normar y ejecutar la supervisión a plantas de tratamiento de aguas residuales.
- c) Mejoramiento del sistema de agua y alcantarillado, rehabilitación y mantenimiento de pozos, realizar estudios de calidad del agua, dotar de servicio a pequeñas localidades y tener cursos de capacitación y educación ambiental.
- d) Construcción de puentes en río, protección mediante árboles y desasolve, evitar asentamientos humanos en zonas de riesgo, elaboración de plan de emergencia, obras de protección para evitar desbordamientos de ríos y aumentar la capacidad de drenaje en la zona urbana.

El programa de acciones jerarquizadas integró una propuesta de acciones, proyectos y actividades específicas, resultado de la compilación de información institucional y del consenso de los talleres participativos, a alcanzar en las cuencas en corto, mediano y largo plazos, su costo y periodo de ejecución. Asimismo, las acciones fueron jerarquizadas en cuanto a sus beneficios e inversiones.

Finalmente, se elaboraron los documentos finales de los planes de Gestión Integrada

para cada cuenca, incluyendo cuadros, tablas y fotografías que hacen más clara la descripción de los temas, así como anexos con la información generada y la proporcionada por el Inesa, la Conagua y otras instancias, en copia digital (incluyendo la información geográfica generada).

Conclusiones y recomendaciones

Los planes de Gestión Integral para las cuencas de los ríos Cintalapa-La Venta, Huixtla y San Nicolás, de la costa de Chiapas, son documentos de gran importancia porque son los instrumentos que permiten “aterrizar”, en el ámbito local, las estrategias y acciones planteadas en los documentos rectores de las instancias estatal y regional, considerando la opinión de los principales actores institucionales y, sobre todo, sociales de las comunidades que, finalmente, serán beneficiadas por los programas gubernamentales del sector agua.

Es importante señalar que falta mucho apoyo a este tipo de estudios a lo largo de del país, y dedicar mayores recursos y tiempo a planear, desarrollar e implantar

metodologías como las que en estos estudios se implementaron; en las que se aprovechen tanto los avances científicos y tecnológicos, como la participación de la sociedad en su conjunto.

Bibliografía

Conagua. *Programa Hídrico Regional, Visión 2030, para la Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur*. México: Conagua, 2012.

_____. *Programa de Acciones y Proyectos para la Sustentabilidad Hídrica del Estado de Chiapas*, México: Conagua, 2012.

Resumen curricular

Ramón Arturo Piña Sánchez. Ingeniero Civil (1983) y maestro en Ingeniería (2002) por la UNAM. Desde 1983 trabaja en el sector agua; primero en la Dirección de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal y, a partir de 1989, en el IMTA. Su principal experiencia está en las áreas de planeación y sistemas, principalmente para el subsector agua potable.

ESTUDIO JURÍDICO-TARIFARIO PARA LA ADMINISTRACIÓN DIRECTA DE OBRAS Y SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE OAXACA (ADOSAPACO)

F. V. Cruz

Resumen

Dadas las condiciones financieras y el estado físico que guardan las instalaciones para la prestación de los servicios de la Administración Directa de Obras y Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Oaxaca (Adosapaco), es necesario incrementar las tarifas por la prestación de los servicios.

El estudio tarifario fue enfocado a conseguir los siguientes objetivos básicos: eficiencia económica, autofinanciamiento, acceso a los servicios y transparencia. Se estructuraron tres diferentes escenarios que fueron presentados y analizados junto con el personal de la Adosapaco, a fin de mantener la viabilidad de la aplicación de las nuevas tarifas. Las premisas básicas de estos tres escenarios son: mantener los subsidios para los usuarios domésticos y, en menor medida, para los usuarios de tipo comercial seco; implementar los subsidios cruzados entre los usuarios de tipo industrial y público para beneficio de los usuarios domésticos en niveles razonables de consumo; no subsidiar en ningún nivel de consumo las tarifas para uso industrial;

dado el bajo nivel de micromedición, mantener las tarifas fijas por tipo de usuario; simplificar la clasificación de usuarios que actualmente tiene nueve tipos; mantener el periodo bimestral del proceso de toma de lectura, facturación y cobro, a fin de no incrementar los costos de operación del organismo y, por último, mantener la tarifa del 10% para servicio de alcantarillado y saneamiento. Una vez elegido el escenario más viable, se presentó a la Secretaría de Finanzas del estado.

Esta propuesta tarifaria fue discutida y aprobada por el H. Congreso del estado y publicada en el *Periódico Oficial* el 15 de diciembre de 2012, entrando en vigor a partir del 1° de enero de 2013.

Introducción

A pesar de que en 2012 se incrementaron las tarifas del servicio de agua potable, se incluyó el cobro por servicio de descarga sanitaria que presta la Adosapaco. Estas tarifas aún resultan muy bajas para enfrentar, al menos, los costos de operación y mantenimiento, dejando totalmente fuera de posibilidad poder invertir en la in-

fraestructura necesaria para incrementar la calidad y cobertura de dichos servicios.

De acuerdo con los reportes de la Adosapaco, a inicios de 2012 la cobertura de agua potable en el municipio de Oaxaca de Juárez era del 87.9%, mientras que el *Censo de población y vivienda* de 2010 arrojó una cobertura del 86.8%; además, el organismo presta servicios a otros nueve municipios, cubriendo una cobertura aún menor que en la capital.

Existe, asimismo, una escasa cobertura de alcantarillado del 86.8%, de acuerdo con los resultados del Censo antes referido. También, debido a la falta de planeación, el drenaje sanitario se encuentra mezclado con el drenaje pluvial, lo cual llega a generar graves afectaciones a la población en temporada de lluvias debido a la saturación de la red, así como a problemas de azolvamiento, ocasionando que algunas zonas sufran inundaciones con aguas negras.

En la actualidad, sólo un parte de las aguas residuales es tratada a través de la planta de tratamiento Oaxaca de Juárez y Municipios Conurbados, denominada también La Raya, actualmente operada por la Comisión Estatal del Agua, la cual recibe alrededor de 250 L/s, mientras que su capacidad de diseño es de 600 litros por segundo.

Actualmente, la Adosapaco reporta un 20.1% de tomas sin medidor, lo cual indica que el 79.9% de los usuarios tienen servicio medido. Sin embargo, existe un alto índice de registro de anomalías que no permite llevar a cabo el proceso de medición. Durante el cuarto bimestre de 2012, sólo el 59.2% de las tomas tuvieron servicio medido.

Por otra parte, la situación financiera del organismo refleja una alta dependencia del subsidio estatal para poder operar; en 2011 los ingresos de la Adosapaco sólo alcanzaron a cubrir el 22.2% del gasto de operación. De acuerdo con el desglose de los gastos de operación durante 2011, el 58.7% corresponde a costos de mano de obra, 11.4% a costos de energía y 29.9% a otros gastos.

Con respecto a las tarifas del servicio de agua potable, el primer antecedente del que se tiene registro es el Decreto 178 autorizado por la LIV Legislatura Constitucional del Estado Libre y Soberano de Oaxaca, el cual fue publicado en el Periódico Oficial de dicho estado el 28 de diciembre del año 1991, y entró en vigor al día siguiente de su publicación. Desde entonces y hasta 2011, no se autorizaron modificaciones a dichas tarifas; incluso, no eran actualizadas de acuerdo con la inflación.

El 24 de diciembre del 2011 se publicó la Ley Estatal de Derechos en el *Periódico Oficial* del gobierno del estado, donde se establecen las nuevas tarifas para el servicio de suministro de agua potable en números de salarios mínimos; además, se estipula que se aplicará el cobro de 10% por el servicio de descarga sanitaria, exceptuando de dicho cobro a la clase doméstico popular, interés medio y unidad habitacional, las cuales entraron en vigor el 1° de enero de 2012.

Si bien las condiciones socioeconómicas de la población de la zona de influencia del organismo no son de las mejores del país, es necesario que la población valore el servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento que reciben y paguen por el mismo, a fin de que el sistema obtenga

los recursos necesarios para prestar un servicio eficiente en cantidad y en calidad, invierta en ampliación de redes de agua potable para cubrir la demanda total, así como en el alcantarillado y saneamiento para evitar contaminar los cuerpos receptores de agua residual.

Resultados

En las actuales condiciones de operación y las tarifas de 2012, la Adosapaco está en posibilidades de facturar \$55.6 y recaudar \$35.2 millones anuales. Los gastos de operación de 2012 se estiman en \$158.2 millones, por lo que el importe de la facturación representa el 35% de este gasto y la recaudación tan sólo el 22.2 por ciento.

Esta situación refleja un déficit del 65% para lograr cubrir tan sólo el costo de operación, considerando que se pudiera incrementar la eficiencia comercial al 100%, situación también muy difícil de alcanzar en un periodo inmediato.

Se diseñó una estructura tarifaria que pretende lograr, en alguna medida, los siguientes objetivos:

- **Eficiencia económica.** Las tarifas deben promover el uso eficiente de los recursos utilizados (capital, mano de obra, medio ambiente, y recursos hídricos, etc.) Por lo tanto, este objetivo busca que la tarifa recupere todos los costos económicos asociados con la prestación de servicios. Cabe hacer énfasis que para lograr el objetivo económico es necesario que la tarifa dé una señal clara a los usuarios y, como consecuencia, el consumo debe ser medido.
- **Autofinanciamiento.** Las tarifas deben asegurar que el organismo financie los

recursos necesarios para operar y mantener los servicios en forma eficiente y sostenible, y generar recursos para expansión, mejoramiento y reemplazo de la infraestructura.

- **Acceso a los servicios.** Las tarifas debe asegurar el acceso de toda la población a servicios básicos de agua potable y saneamiento, indispensables en la vida y salud de los habitantes de la comunidad. Asegurar el acceso requiere que el servicio de agua potable llegue al domicilio, o cerca de éste, con calidad aceptable.
- **Transparencia.** La estructura y nivel tarifario deben ser entendidos por todos aquellos que tienen un interés en el tema: los usuarios, autoridades que regulan el servicio y aprueban las tarifas, y directivos y funcionarios del organismo. La transparencia busca reglas claras en la asignación de los costos a los diferentes usuarios, en parte para lograr la aceptación del sistema tarifario por la sociedad y también para disminuir las posibilidades de decisiones arbitrarias y malos manejos.

El logro de dichos objetivos se obtendrá mediante un eficiente sistema comercial que permita mantener información actualizada y confiable sobre el padrón de usuarios, incluyendo el historial de comportamiento de su consumo, facturación y cobranza. También dependerá de un sistema de regulación y vigilancia de los derechos y obligaciones de los usuarios y del organismo operador, para evitar el traslado de los costos de ineficiencia a los usuarios.

Es de suma importancia que en la Adosapaco se apliquen los principios de política tarifaria antes mencionados, y que se obtenga

la eficiencia económica que permita solventar los costos de operación del organismo, así como una autosuficiencia que conlleve a asegurar el mantenimiento adecuado de las instalaciones para un mejor servicio, y así, de esta manera, aprovechar los ingresos que se perciben por concepto de subsidio, para invertir en infraestructura que permita llevar el servicio a toda la población de una manera eficiente y adecuada.

La estructura tarifaria se debe basar en un método que permita establecer el precio justo que pagará el usuario por el servicio que recibe, el cual estará en función al tipo de usuario y a los rangos de consumo. Este cobro deberá ser el principal recurso financiero con el que cuente el organismo, y servirá para la recuperación paulatina de sus costos de producción, en primera instancia, y posteriormente, para destinar los recursos necesarios para el mantenimiento y mejoramiento del sistema de agua potable.

La estructura propuesta considera, igual que la estructura actual, dos grandes bloques: los usuarios con servicio medido y usuarios con servicio no medido, denominados “de tarifa fija”.

Estructura tarifaria

Para esta propuesta, y después de hacer un análisis de la situación comercial y financiera del organismo, se parte de un costo estimado de producción de \$13.40 por metro cúbico para el año 2012.

Las consideraciones generales para esta propuesta tarifaria son:

1. Mantener los subsidios para los usuarios domésticos y, en menor medida,

para los usuarios de tipo comercial seco.

2. Implementar los subsidios cruzados entre los usuarios de tipo industrial y público, para beneficio de los usuarios domésticos en niveles razonables de consumo.
3. No subsidiar en ningún nivel de consumo las tarifas para uso industrial.
4. Dado el bajo nivel de micromedición, mantener las tarifas fijas por tipo de usuario.
5. Eliminar las tarifas por “Anomalía”, ya que esta condición debe ser temporal, por lo que dichas anomalías deben ser atendidas y reparadas en un periodo no mayor a dos bimestres.
6. Eliminar la tarifa de “Domicilio deshabitado”, por lo que esas tomas pagarían lo correspondiente al consumo cero.
7. Simplificar la clasificación de usuarios, que actualmente tiene nueve tipos.
8. Mantener el periodo bimestral del proceso de toma de lectura, facturación y cobro, a fin de no incrementar los costos de operación del organismo.
9. Mantener la tarifa del 10% para el servicio de alcantarillado y saneamiento.

Se plantearon tres escenarios con diferente estructura y niveles tarifarios, mismos que fueron analizados y discutidos con el personal del organismo, así como con el Secretario de Finanzas del gobierno del estado y su grupo de asesores.

Así, se decidió someter a autorización del H. Congreso del estado, la estructura tarifaria que se presenta en las tablas 1y 2.

También, se determinó mantener con el cobro del 10% de servicio de saneamiento, que incluye el alcantarillado y tratamiento.

Conclusiones y recomendaciones

Esta estructura permitirá incrementar la facturación de \$9.1 millones a \$13.8 millones bimestrales y enfrentar los costos de operación para la prestación del servicio.

Es muy importante transparentar y difundir las tarifas de agua, a fin de lograr la aceptación y confianza de los usuarios. Por ello, se recomienda incluir en el portal de Internet una calculadora de tarifas que permita al usuario conocer cómo se determina el importe que se le factura y, aun, pueden incluirse temas relacionados con la lectura del medidor, fechas de lectura y cobro, cálculo de recargos, entre otros. Además, es necesario elaborar los lineamientos relacionados con las tarifas del servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento, donde se especifiquen los criterios de clasificación de los usuarios, de servicio medido y no medido; la determinación de consumo presuntivo en caso de anomalía; los plazos de atención de las anomalías; las responsabilidades de los usuarios para el uso y lectura del medidor, entre otros. También es necesario incluir las cuotas que se establecen por conceptos distintos al servicio de agua potable y saneamiento, tales como suministro de agua residual tratada, autorización para la construcción de depósitos para almacenamiento de agua, cambio de ubicación de la toma domiciliaria, cambio de nombre de usuario, por expedición de constancia de no adeudo, por recargos y gastos de cobranza, por aprobación, supervisión y verificación de servicios y obras (facti-

bilidad). Todo esto podría conformar un acuerdo tarifario firmado por el gobierno del estado.

Si bien, la propuesta de nueva estructura tarifaria permitiría incrementar la facturación del organismo, ésta no es suficiente para que el organismo incremente su eficiencia global, por lo que debe llevar acciones para mejorar de la calidad del servicio; evaluar y hacer más eficientes sus costos de operación; mejorar la calidad del agua, la cantidad suministrada, la eficiencia física, la macro y micromedición; fomentar el uso eficiente y racional del agua; recuperar la cartera vencida e incrementar la recaudación, entre otras.

Bibliografía

CONAGUA-INAP. *Actualización al estudio de diagnóstico y planeación integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la ciudad de Oaxaca y zona conurbada*. México: Conagua, 2011.

Resumen curricular

Flor Virginia Cruz Gutiérrez. Licenciada en Contaduría por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (1994), maestra en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México (1997). Es especialista en estudios de evaluación socioeconómicos y financieros de obras de infraestructura hidráulica y en aspectos económicos, financieros y comerciales de empresas de agua y saneamiento.

**Tabla 1. Estructura tarifaria para servicio medido (cifras en pesos corrientes de 2012).
Fuente: elaboración propia.**

Consumo bimestral (m³)		Doméstico Clase 1	Doméstico Clase 2	Doméstico Clase 3	Comercial Seco 1	Comercial Seco 2	Público	Industrial/ Comercial Húmedo
de	a							
Importe total bimestral								
0	20	44	67	127	95.54	189.91	289.04	325
21		46.22	70.38	133.41	100.36	199.5	303.64	341.3
22		48.49	73.83	139.96	105.28	209.28	318.5	357.5
23		50.82	77.39	146.69	110.35	219.36	333.74	373.8
24		53.25	81.09	153.7	115.62	229.83	349.51	390
25		55.8	84.97	161.06	121.16	240.84	365.93	406.3
26		58.5	89.08	168.86	127.02	252.5	383.18	422.5
27		61.39	93.49	177.2	133.3	264.98	401.43	438.8
28		64.52	98.24	186.22	140.08	278.46	420.88	455
29		67.92	103.42	196.04	147.47	293.15	441.77	471.3
30		71.66	109.12	206.85	155.6	309.31	464.38	487.5
Tarifa por metro cúbico excedente								
31	50	8.2	8.2	8.2	8.2	13.7	14.4	16.6
51	70	10.8	10.8	10.8	10.8	16	15.1	17.4
71	90	14.9	14.9	14.9	14.9	18.6	15.9	18.3
91	110	21.3	21.3	21.3	21.3	21.4	24.8	19.3
111	130	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	19.8	20.4
131	En adelante	25.8	25.8	25.8	25.8	25.9	21	21.7

Tabla 2. Estructura tarifaria para servicio no medido (cifras en pesos corrientes de 2012). Fuente: elaboración propia.

Doméstico Clase 1	Doméstico Clase 2	Doméstico Clase 3	Comercial Seco 1	Comercial Seco 2	Público	Industrial/ Comercial Húmedo
69	157.92	283.2	292.45	483.03	865.58	1,449.88

IMPACTO, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE RIEGO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

W. Ojeda y M. Íñiguez

Resumen

La comunidad científica mundial reconoce que el cambio climático es un hecho incontrovertible, con impactos directos sobre los sistemas de producción agrícola producidos debido al cambio potencial de los patrones espacial y temporal, en variables meteorológicas que inciden en la productividad agrícola. En consecuencia, es de gran importancia evaluar los posibles impactos y la vulnerabilidad de la agricultura de riego ante el cambio climático. Adicionalmente, dependiendo de la magnitud de los impactos climáticos y de la vulnerabilidad de las zonas de riego, existe una alta posibilidad que la adaptación autónoma de varias zonas no será suficiente, porque su velocidad de adaptación se verá sobrepasada por la rapidez con la cual se proyectan dichos cambios ambientales. Ante esta situación, se requiere anticipar los posibles cambios en la productividad agrícola y definir acciones de respuesta planificadas en regiones de mayor vulnerabilidad y riesgo. En este trabajo se resume una serie de estudios realizados en la Coordinación de Riego y Drenaje del IMTA en los últimos siete años, para estudiar los impactos potenciales ante el cambio en los patrones de las variables ambientales temperatura y precipitación, se evalúa a nivel munici-

pal la vulnerabilidad actual de agricultura de riego y se analiza la importancia de las acciones de adaptación para responder de manera planificada ante los retos que implica convivir con el inminente cambio climático.

Introducción

México es un país tradicionalmente agrícola que cuenta con 30 millones de hectáreas (ha) potencialmente cultivables para uso agrícola, que representan 15% de su superficie total (INEGI, 2009). Anualmente se cultivan, en promedio, cerca de 20 millones de ha que representan 70% de la superficie agrícola. En el periodo 1980-2007, la superficie total cosechada promedio fue de 18.6 millones de ha, de las cuales, 27% corresponden a la modalidad de riego y 73% a la modalidad de temporal. La superficie cosechada bajo riego es menor que la de temporal; sin embargo, la productividad bajo riego (expresada en \$/ha) es 300% mayor que la de temporal.

La agricultura de riego ha sido un factor importante para el desarrollo del país. México ocupa el sexto lugar mundial en superficie agrícola con infraestructura para riego, estimada en 6.5 millones de ha (Conagua, 2010). Se ha documentado que el cambio

climático afectará el nivel productivo de los cultivos; sin embargo, dichos impactos se deben analizar localmente.

La caracterización de la vulnerabilidad de la agricultura ante el cambio climático es un proceso complejo, ya que involucra elementos no sólo climáticos sino también socioeconómicos, institucionales, físicos y tecnológicos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001) señala que la vulnerabilidad de una zona agrícola es función de tres componentes: exposición (E), sensibilidad (S) y capacidad de adaptación (CA). La exposición se define como

la posibilidad de un sistema de quedar expuesto a un cambio ante una posible situación desestabilizadora no necesariamente negativa. La sensibilidad se refiere al grado en que un sistema responde a fluctuaciones del entorno. La capacidad de adaptación o resiliencia se refiere al potencial de un sistema para recuperar su estado inicial ante un cambio permanente o temporal de su entorno. Los estudios de vulnerabilidad son la base para definir acciones de adaptación y mitigación al cambio climático en regiones críticas detectadas por interrelaciones de los componentes de vulnerabilidad, como se indica en la ilustración 1.

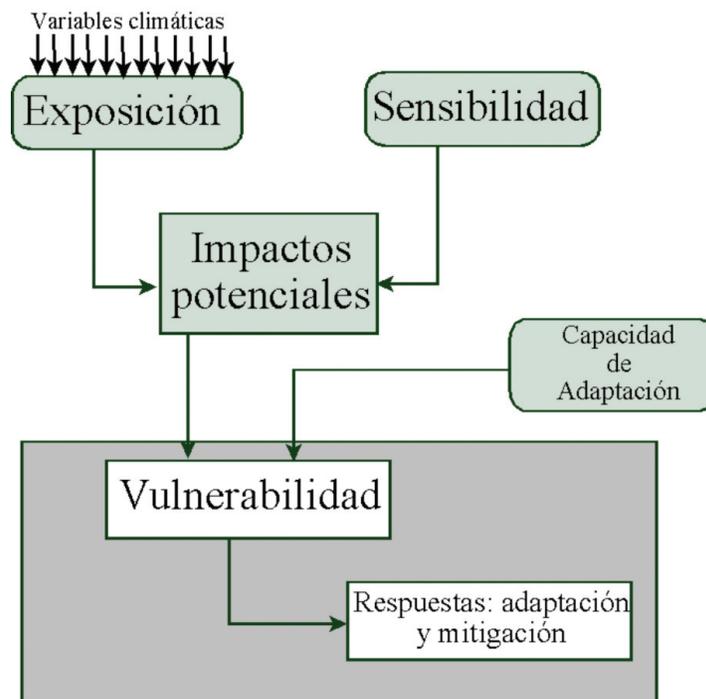


Ilustración 1. Componentes para evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (Fuente: adaptada de Gbetibou y Ringler, 2009).

Resultados

Usando un ensamble de 23 modelos de circulación general, Montero et al. (2013) analizaron las anomalías climáticas proyectadas para el presente siglo en México, que indican un incremento general en temperatura y un decremento en precipitación en el país. Usando dichas pro-

yecciones para el Distrito de Riego 075 (DR-075), Río Fuerte, localizado al norte del estado de Sinaloa, se observa una tendencia significativa a disminuir la precipitación bajo dos escenarios de emisiones: A1B y A2 (ilustración 2). Una disminución en la precipitación de una zona de riego indica un incremento en los requerimientos de riego de los cultivos.

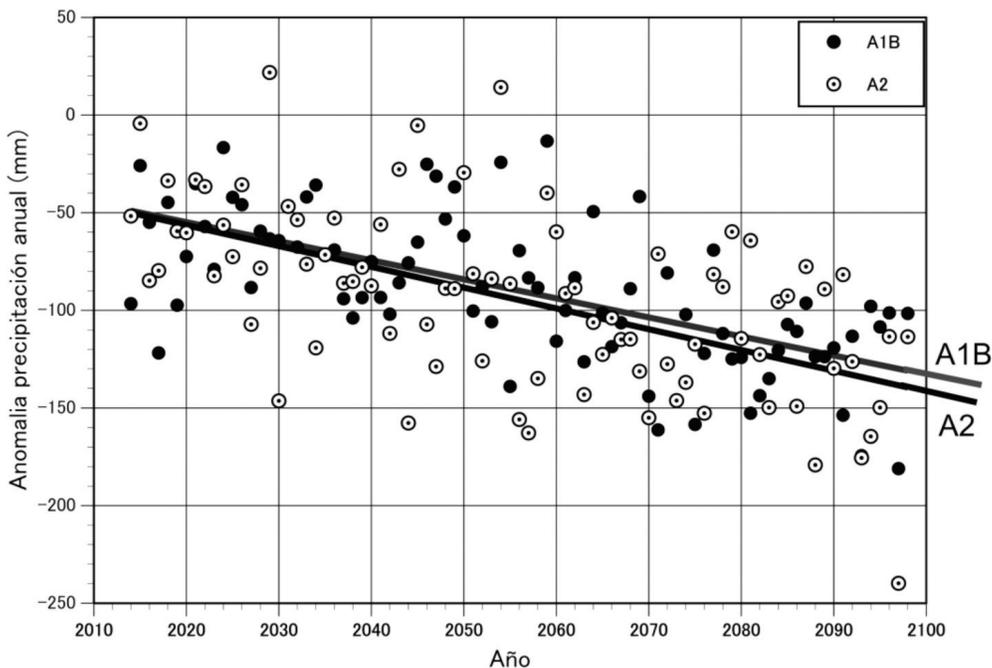


Ilustración 2. Anomalías en la precipitación anual del DR-075 y líneas de tendencia para los escenarios de emisiones A1B y A2.

La evaluación espacial de la vulnerabilidad de la agricultura de riego, a través de la evaluación de los componentes mostrados en la ilustración 1, se apoyan en una serie de indicadores de acuerdo con el trabajo de Ojeda et al. (2010). El mapa de vulnerabilidad global municipal de la agricultura bajo riego para el ciclo otoño-invierno se presenta en la ilustración 3. Estos mapas sirven como un instrumento de apoyo para

definir políticas gubernamentales y elaborar planes de adaptación en regiones prioritarias del país. Las zonas agrícolas más vulnerables son las zonas marginadas, con baja capacidad de adaptación y limitado desarrollo tecnológico y socioeconómico, y en donde el incremento en temperatura y la baja en la precipitación generan mayores presiones ambientales para mantener o mejorar la productividad actual.

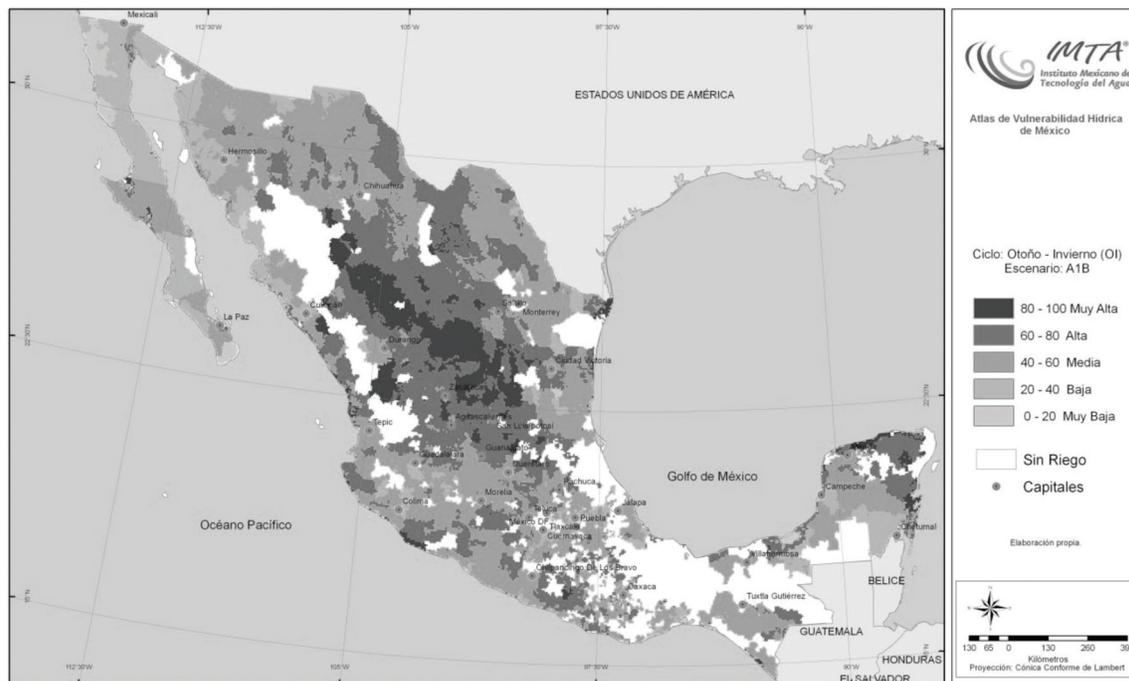


Ilustración 3. Vulnerabilidad de la agricultura de riego para el escenario de emisiones A1B ciclo otoño-invierno.

La disminución de la precipitación por efectos del cambio climático provocará cambios estructurales en las zonas de riego para incrementar la eficiencia del agua en los diferentes niveles operativos. Sin embargo, el incremento paulatino en la temperatura producirá cambios importantes en el desarrollo y crecimiento de las plantas, plagas y enfermedades. Uno de los impactos más drásticos será en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos que se traducirá en una reducción del rendimiento (ilustración 4), al reducirse los periodos de absorción de nutrientes, de interceptación de energía solar y de actividad metabólica. Se analizó el impacto del incremento de la temperatura para el escenario A1B en el rendimiento del maíz

en el DR-075, en la duración del ciclo fenológico. Se acepta una reducción máxima del 10% en el rendimiento potencial del maíz en la temporada de siembras óptima, que actualmente (P_0) es de cuatro meses (mediados de septiembre a mediados de enero). Sin embargo, la duración de la temporada óptima de siembras se reduciría en 6, 21 y 38% para los periodos P_1 (2010-2030), P_2 (2040-2060) y P_3 (2078-2098), respectivamente, de acuerdo con la temporada óptima del periodo actual (P_0). Para contrarrestar el efecto en la reducción del ciclo del maíz, se requerirá usar variedades con mayores requerimientos de calor (duración de ciclo más largo) con respecto a las variedades actuales usadas.

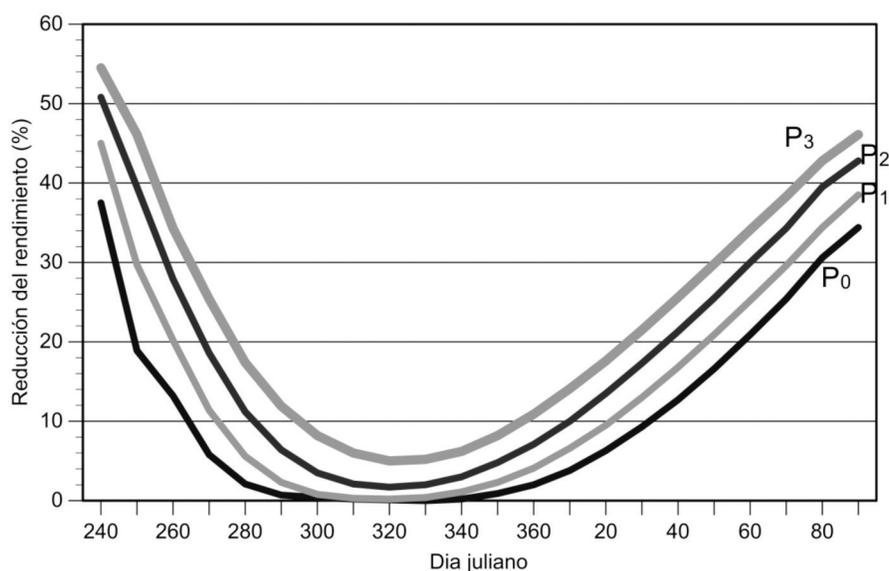


Ilustración 4. Reducción del rendimiento potencial (en %) del maíz otoño-invierno en función de la fecha de siembra en día juliano, bajo el escenario de cambio climático A1B para los cuatro periodos analizados.

Para la misma zona de estudio, se estimaron los requerimientos hídricos de los cultivos (ETc), de acuerdo con la metodología de la FAO, con un programa de cómputo propio que tenía implícito el cálculo de Kc (coeficiente de cultivo), en función de los días grado, °D (Ojeda et al., 2006). Se integraron los valores de ETc de cultivos, de acuerdo con la metodología indicada por Íñiguez et al. (2011). Los resultados indican que se presentará un desfase y una disminución de la ETc pico cuando se mueve del periodo actual (P0) al periodo más cálido (P3), debido que el acortamiento de los ciclos anuales mueve el valor pico a los meses más fríos, lo cual anula el efecto del incremento en los valores de la evapotranspiración de referencia (ETo) por efecto del incremento de la temperatura. En ausencia de acciones de adaptación, el valor integral de la ETc del año agrícola

del DR-075 disminuirá en 2, 6 y 8% para los periodos P1, P2 y P3, respectivamente, de acuerdo con el periodo actual P0.

Ante estos impactos que afectarán negativamente los rendimientos de los cultivos, se requiere implantar en la agricultura bajo riego una serie de acciones factibles de adaptación al cambio climático. Las medidas de adaptación se agruparon en cuatro grandes grupos: 1) desarrollos tecnológicos que requieren de grandes recursos económicos y técnicos, 2) acciones planificadas bajo responsabilidad de los gobiernos federal y estatal para su implantación, 3) acciones de manejo parcelario del cultivo relacionadas con la planeación, la preparación/siembra del terreno, las labores culturales, la mejora de la aplicación/uso de insumos, el monitoreo del cultivo y las relacionadas con la cosecha/comercializa-

ción y, por último, 4) las acciones relacionadas con el manejo y riesgo financiero.

Una parte importante de la adaptación de la agricultura de riego al cambio climático, no sólo es disponer de un portafolio de acciones factibles, sino también de su priorización basada en una serie de indicadores que cuantifican: 1) la importancia o efectividad de la acción para evitar daños, en términos de los beneficios sustanciales que pueden ser obtenidos de la acción, aunque potencialmente a costos altos, 2) en la urgencia de la acción para reflejar la prontitud que demanda la acción, los costos, las necesidades tecnológicas, y las capacidades técnicas requeridas pueden posponer la aplicación de la acción, 3) el no arrepentimiento para incorporar otros factores además del clima, 4) el co-beneficio para incorporar efectos externos que tienen efectos positivos en alcances de políticas no relacionadas con la agenda del cambio climático, como la seguridad alimentaria, y, por último, 5) el efecto de mitigación de la acción para incorporar efectos en la reducción de emisión o secuestro de gases de efecto invernadero.

Conclusiones y recomendaciones

Potencialmente, un incremento en la temperatura ambiental por efectos del cambio climático provocará un desfase (adelanto) y una reducción en las demandas hídricas acumuladas de los cultivos, debido al acortamiento en la duración del ciclo fenológico de los cultivos anuales, mismo que anulará el incremento de la ETo.

Para contrarrestar la reducción en el ciclo fenológico de los cultivos anuales, y en

consecuencia de su rendimiento, se deberán desarrollar acciones de adaptación para restringir el periodo de siembras a los meses que generen mayor duración del ciclo en los cultivos, o usar variedades de ciclo más largo resistentes no sólo al estrés hídrico sino también al estrés térmico, a fin de alargar el ciclo de los cultivos y soportar temperaturas más altas de las que actualmente se presentan durante el desarrollo de los cultivos.

Siendo la agricultura de riego una actividad esencial para el desarrollo del país y la seguridad alimentaria, es de interés nacional no únicamente analizar los posibles impactos en la productividad de las zonas agrícolas bajo riego, sino también caracterizar su vulnerabilidad espacial al cambio climático que permita identificar las regiones agrícolas más sensibles al cambio climático, donde es urgente aplicar acciones de adaptación al cambio climático potencialmente factibles.

Bibliografía

CONAGUA. *Estadísticas del agua en México*. México: Comisión Nacional de Agua, 2010.

GBETIBOUO, G. A. and RINGLER, C. *Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability: a subnational assessment*. IFPRI Discussion Paper 00885. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute, Environment and Production Technology Division, 2009, 30 pp.

INEGI. *Censo Agropecuario 2007, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. Aguascalientes, México: 2009.

ÍÑIGUEZ, M., OJEDA, W., ROJANO, A. 2011. Metodología para la determinación

de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(2), 2011, pp. 175-191.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). *Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Informe del Grupo de Trabajo II. Resumen para responsables de política. Ginebra, Suiza: OMM-PNUMA, 2001, 95 pp.

MONTERO, J. M., OJEDA, W., SANTANA, J. S., PRIETO, R. y LOBATO, R. Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. Jiutepec, Mor.: *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. IV, núm. 2, 2013, pp. 113-128.

OJEDA, W., SIFUENTES, E. y UNLAND, H. Programación integral del riego en maíz. *Agrociencia*, 40, 2006, pp. 13-25.

OJEDA, W., ÍÑIGUEZ, M. y GONZÁLEZ, J. M. Vulnerabilidad de la agricultura de riego de México ante el cambio climático. Capítulo 5 libro *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010, pp. 115-142.

OJEDA, W., SIFUENTES, E., ÍÑIGUEZ, M. y Montero, J. M. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 2011, 1-11.

OJEDA, W., SIFUENTES, E. ROJANO, A. e ÍÑIGUEZ, M. La adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. Capítulo libro *Impacto del cambio climático en los recursos hídricos*, Vol. IV. Eds. C. Patiño y P. Martínez. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2012, pp. 65-113.

EL PROCESO LLUVIA-ESCURRIMIENTO-EROSIÓN EN LADERAS Y MICROCUENCAS INSTRUMENTADAS, Y MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN MICROCUENCAS RURALES (KEYLINES Y COSECHA DE AGUA)

P. Rivera, H. G. Cortés, R. Medina y W. Wruck

Resumen

Se evaluó el proceso lluvia-escurrimiento-erosión en diferentes prácticas de manejo con cultivos de escarda y de cobertera en lotes de escurrimiento, así como también en una parcela con cultivo de maíz establecida en laderas de suelos andosoles de la cuenca Villa Victoria, del Sistema Cutzamala. Los resultados mostraron que en pendientes de 30%, los cultivos de escarda en surcos al contorno tuvieron una eficiencia promedio del 40% de control de los escurrimientos y erosión del suelo. Por otro lado, en los cultivos de cobertera la eficiencia fue del 62%. En estos suelos, la erosión estuvo correlacionada con la lámina de escurrimiento, la precipitación efectiva, el escurrimiento máximo, la intensidad de la lluvia y la humedad antecedente. Por su parte, el escurrimiento superficial estuvo asociado con el escurrimiento máximo y la intensidad de la lluvia. Además, el escurrimiento máximo se correlacionó con la intensidad de la lluvia. En los meses de junio y julio se presentó el 37% del total

de escurrimiento superficial y el 68% de la erosión del suelo; cuando se realizan labores culturales y la cobertura del cultivo está entre el 45 al 85%. Los requerimientos mínimos necesarios para que se presente el proceso lluvia-escurrimiento-erosión fueron: láminas de lluvia de 4.2 mm, intensidad de lluvia de 8.69 mm/h y condición de humedad del suelo cerca de capacidad de campo (53% de humedad). Asimismo, el sistema *Keyline* o Línea Clave, es un diseño hidrológico del terreno con enfoque holístico, cuyo eje fundamental es la absorción de agua de lluvia por el suelo. Esta técnica permite disponer de más agua captada de lluvia y por más tiempo mediante un conjunto de acciones que implican la preparación del terreno, siguiendo un patrón diferente al de las curvas a nivel. Este sistema tiene mucho potencial en México para las áreas de escasa precipitación. Con el propósito de mejorar el conocimiento de este sistema y comprobar sus bondades en el medio agrícola, se realizó un estudio en un predio agrícola del estado de Morelos, donde se diseñó y efectuó el laboreo del

terreno de acuerdo con dicho método. Los resultados encontrados indican que, en efecto, el terreno con el trazo siguiendo el sistema Keyline retiene por más tiempo una mayor cantidad de agua en el suelo, gracias a la dirección del surcado en el terreno, siendo esta la característica del método.

Introducción

Al paso de los años la población se ha incrementado y, con ello, la demanda de alimentos. Además, el ser humano se ha distribuido en diferentes lugares donde ha conformado pueblos y comunidades, y para lograr subsistir ha “sacrificado” grandes zonas de bosques que se han integrado a la agricultura, incrementando así la frontera agrícola. Esas áreas de bosque generalmente están ubicadas en lomeríos y montañas, y bajo el uso agrícola se ha acelerado los procesos de erosión hídrica debido a la no integración de prácticas de manejo conservacionistas, por lo cual se ha afectado la productividad de los suelos y se han generando contaminantes que afectan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (Rivera *et al.*, 1997).

Las cuencas Villa Victoria y Valle de Bravo se ubican en el Estado de México, y en ellas se tienen las dos presas más importantes que integran el Sistema Cutzama-la, mediante del cual se abastece de agua potable a la ciudad de México. En ambas cuencas, los suelos que predominan son los andosoles, y dentro de ella se desarrollan actividades productivas en parcelas de ladera sin un manejo conservacionistas

que generan azolves y contaminantes que llegan, finalmente, a los embalses afectando la calidad del agua.

Respecto a la metodología *Keyline*, en México se aprovecha muy poco el agua de lluvia aun en las zonas de escasa precipitación. Esto es más observado en terrenos con topografía ondulada, en los cuales las cimas de las lomas y su entorno inmediato no retienen el agua y la pierden en forma de escurrimientos superficiales. Aprender a diseñar y manejar inteligentemente el paisaje agrícola para así aprovechar al máximo los recursos hídricos y restituir al suelo su profundidad y fertilidad, es el objetivo del diseño hidrológico de los terrenos mediante este sistema denominado *Keyline*.

Para manejar el sistema es necesario aprender a leer el paisaje e identificar las líneas naturales del agua y las curvas de nivel del terreno, así como determinar el punto de inflexión, punto clave o *Keypoint*. Este punto indica la cota de la curva de nivel que se define como Línea Clave o *Keyline* y, a partir de esta línea, se desencadena todo el desarrollo de la metodología.

En la presente investigación se caracterizaron los factores determinantes (y la interacción entre ellos) que intervienen en el proceso lluvia-escurrimiento-erosión de diversas prácticas de manejo en cultivos de ladera, tanto a nivel de lotes de escurrimiento como de una pequeña microcuenca (parcela) (ilustración 1), con la finalidad de evaluar su eficiencia para el control de los escurrimientos y la pérdida de suelo.



Ilustración 1. Lotes de escurrimiento y pequeña microcuenca (parcela) utilizadas en la investigación que se desarrolló en la microcuenca El Atole, municipio de Villa Victoria, Estado de México.

Resultados

Erosión de suelo y escurrimiento superficial

Durante el periodo de lluvias se registraron 14 eventos que generaron escurrimiento superficial, y la lámina de lluvia total que

precipitó en estos eventos fue de 276.80 mm, por lo que el 29.59% de la lluvia precipitada fue la que provocó escurrimiento superficial. En la tabla 1 se presentan los resultados de escurrimiento y erosión hídrica obtenidos para los ocho tratamientos evaluados en los lotes de escurrimiento.

Tabla 1. Escurrimiento superficial y erosión hídrica en los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Lámina de escurrimiento (mm)	Coefficiente de escurrimiento (%)	Coefficiente de escurrimiento en eventos (%)	Erosión hídrica (Ton/ha)
Suelo con Vegetación Nativa (SVN)	0.87	0.09	0.32	0.09
Frijol en Surcos al Contorno (FSC)	28.91	3.09	10.45	3.34
Maíz en Surcos al Contorno (MSC)	27.41	2.93	9.90	2.97
Haba en Surcos al Contorno (HSC)	24.19	2.59	8.74	3.14
Suelo Sin Vegetación (SSV)	46.05	4.92	16.64	5.12
Avena (AVE)	10.82	1.16	3.91	1.39
Pasto (PAS)	20.03	2.14	7.24	2.97
Plantación Forestal (PFN)	0.27	0.03	0.10	0.07

El suelo sin vegetación (SSV) (ver tabla 1 para la nomenclatura) fue el que presentó los valores más elevados, tanto de escurrimiento superficial como de erosión hídrica, y a pesar de mantenerlo con un barbecho continuo y alta rugosidad del microrelieve de la capa superficial del suelo, es el tratamiento de manejo que más escurrimiento produce. Lo anterior, debido a que la intensidad de la precipitación fue mayor que las tasas de infiltración, y que el impacto de las gotas de lluvia provocó una compactación y un sellamiento de la superficie del suelo, lo cual coincide con lo reportado por Lindstrom et al. (1998). Tapia et al. (2004) indican que este proceso puede disminuir drásticamente la infiltración y aumentar los escurrimientos superficiales.

Los tratamientos que presentaron los escurrimientos superficiales más “altos” después del tratamiento de SSV, fueron los cultivos que se siembran en surcos, como lo fue el MSC, FSC y HSC. El HSC presentó menos escurrimiento de los cultivos de escarda, debido a que la planta se desarrolla en surcos altos que ayudan a la infiltración del agua. Estos resultados son atribuibles al cambio de la estructura del suelo por el laboreo y a la rugosidad del terreno propiciado por la conformación de los residuos de cosecha que favorecen la infiltración del agua en el suelo, aumentan la capacidad de almacenamiento de agua y modifican la dirección y velocidad del flujo superficial (Lawrence et al., 1994; Hussain et al., 1998; Tiscareño et al., 1999). Posteriormente, le siguieron los cultivos de PAS y AVE, ambos cultivos de cobertera que protegen el suelo. Finalmente, SVN y PFN prácticamente no presentaron escurrimientos

superficiales porque cuantificaron valores bajos. Cabe recordar que en estos tratamientos el manejo que se realiza no considera el movimiento del suelo y cuentan con vegetación y mantillo sobre la superficie del suelo que favorece la infiltración del agua en el perfil.

La ocurrencia y magnitud de los eventos de las pérdidas de suelo en un lote dependen de la magnitud e intensidad del evento de precipitación, así como de las condiciones del suelo, el manejo y la etapa de desarrollo del cultivo en cada caso específico. Por esta razón, el número de los eventos con pérdidas del suelo es diferente de un lote a otro, y la variabilidad de las series de erosión dentro de cada tratamiento es atribuida a un efecto aditivo de la variabilidad entre los eventos de lluvia y de los escurrimientos en cada lote. La intensidad de un evento de precipitación y escurrimiento puede ser acentuada o suavizada, dependiendo del manejo agronómico que se da a cada lote (Velásquez, 2006).

Con esta información se desprende que los cultivos sembrados en surcos presentan una eficiencia promedio del 40.0% en el control de escurrimientos y de erosión hídrica; los cultivos de cobertera tuvieron una eficiencia promedio de 61.9% y, finalmente, la plantación forestal y vegetación nativa fueron los más eficientes, con el 98.6 por ciento.

A su vez, en una de las parcelas se registró la precipitación efectiva, el escurrimiento máximo, el volumen escurrido y la erosión hídrica en 14 eventos que se presentaron en el ciclo de evaluación. Dicha información se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Gasto máximo, volumen escurrido y erosión para cada evento de escurrimiento en una parcela.

Fecha	Precipitación diaria (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Precipitación acumulada de 5 días previos (mm)	Humedad antecedente de 5 días previos (%)	Escurrimiento máximo (l/s)	Lámina de escurrimiento (mm)	Coefficiente de escurrimiento (%)	Erosión (Ton/ha)
17-Jun	29.6	26.4	42.21	10.60	41.46	18.60	5.78	21.89	0.829
08-Jul	8.6	7.4	12.69	28.80	50.75	0.17	0.02	0.27	0.015
21-Jul	10.8	10.4	7.17	40.60	54.29	1.23	0.24	2.31	0.051
22-Jul	20.2	10.6	12.47	51.40	53.10	2.45	0.11	1.04	0.028
27-Jul	19.0	12.4	17.71	37.80	55.31	11.13	1.14	9.19	0.221
03-Ago	20.8	13.8	19.26	24.00	54.68	19.63	6.05	43.84	0.531
07-Ago	20.2	6.8	9.71	27.00	50.51	0.40	0.08	1.18	0.003
09-Ago	20.6	18.6	14.49	35.60	45.62	35.60	9.66	51.94	0.409
12-Ago	5.2	4.2	8.69	53.20	52.34	1.71	0.11	2.62	0.003
24-Ago	19.6	12.8	17.45	29.60	57.81	20.17	4.37	34.14	0.077
29-Ago	18.4	9.0	20.00	29.80	54.15	23.10	3.41	37.89	0.045
31-Ago	3.8	2.4	12.00	30.00	58.15	1.71	0.12	5.00	0.004
04-Sep	18.4	15.4	8.97	46.40	54.26	1.88	0.35	2.27	0.008
19-Sep	11.2	7.2	24.00	20.00	51.15	18.01	4.23	58.75	0.220
Suma	226.40	157.40	226.82	464.80	733.58	155.79	35.67	272.33	2.44

La lluvia total que generó escurrimiento fue de 157.40 mm. Por su parte, la lámina total de escurrimiento fue de 35.67 mm, lo que significa que el coeficiente de escurrimiento para los eventos evaluados fue de 22.66 por ciento.

De manera general, al cuantificar el total de lámina escurrida durante el mes de agosto, representó el 66.71% de la lámina total de escurrimiento. Siguiendo el mismo orden, los eventos cuantificados durante el mes de junio representaron el 16.22% de la lámina total de escurrimiento, seguido por el mes de septiembre y, finalmente, el mes de julio, con 12.82 y 4.26% del total, respectivamente.

En cuanto a las tasas de erosión, se observa que en el primer evento se tuvo la erosión más alta con 0.829 t/ha, que representa el 33.92% de la erosión total cuantificada. Cabe mencionar que en este primer evento no se tuvo el mayor gasto en el escurrimiento y tampoco el mayor volumen, lo cual se explica por las condiciones del terreno, que favorecieron las tasas de erosión, ya que previo al evento se realizaron labores de cultivo, por lo que hubo movimiento de suelo. Lo anterior se comprueba de acuerdo con Truman y Williams (2001), quienes mencionan que la producción de sedimentos por efecto de manejo puede variar estacionalmente debido a las alteraciones de la superficie del suelo por la maquinaria y a la secuencia previa de las tormentas.

Sin embargo, para que se presente el proceso lluvia-escurrimiento-erosión hay dos aspectos importantes a considerar: la precipitación acumulada y la humedad antecedente en el suelo en los cinco días

previos al evento (Soil Conservation Service, 1985; Mishra et al., 2006; Garen y Moore, 2005), ya que con ello se determina la probabilidad de que se genere escurrimiento, de acuerdo con los autores, cuando previamente se llega a tener menos de 12.7 mm de lluvia. Entonces, la condición de humedad del suelo es seca. Si se tiene entre 12.7 y 38.1 mm la condición de humedad es media y, finalmente, si precipitan más de 38.1 mm, la condición de humedad del suelo es húmeda. Con base en ello, tenemos que solamente un evento se presentó en condición seca, pero hubo mucha erosión porque la intensidad de la lluvia fue la mayor de todos los eventos, al igual que la precipitación efectiva. Nueve eventos se presentaron cuando la condición de humedad era media, con valores que llegaron casi a la condición húmeda, con valores de humedad antecedente promedio que oscilaron en 53%. Cabe recordar que el contenido de humedad a capacidad de campo para este tipo de suelo es de 54%. Cuatro eventos se presentaron en condiciones húmedas y el promedio de humedad en el suelo promedio osciló entre el 53.50 por ciento.

Para que se presente el proceso lluvia-escurrimiento-erosión en este tipo de suelos, las condiciones son tener una humedad del suelo cercana a la capacidad de campo, con lluvias efectivas promedio de 7.0 a 14.0 mm de lámina e intensidades promedio de 12.0 a 20.0 milímetros por hora.

Proceso lluvia-escurrimiento-erosión

El análisis del proceso lluvia-escurrimiento-erosión se realizó considerando la información de los eventos de lluvia que se registraron. De tal manera que se deter-

minaron los coeficientes de correlación (R^2) entre la erosión con diversas variables de precipitación y escurrimiento. Con base en ello, se puede concluir que para la zona de estudio y este tipo de suelos la erosión del suelo está más correlacionada con la lámina de escurrimiento, seguida de la precipitación efectiva, el escurrimiento máximo, la intensidad de la lluvia y la humedad antecedente. En el caso de la lámina de escurrimiento, se

observó una mejor correlación con el escurrimiento máximo seguida de la intensidad de la lluvia, así como también con la precipitación acumulada en los cinco días previos. En cuanto al escurrimiento máximo, este tuvo una buena correlación con la intensidad de la lluvia. Lo anterior nos demuestra que existe una gran dispersión de los valores obtenidos en el análisis del proceso lluvia-escurrimiento-erosión (ilustración 2).

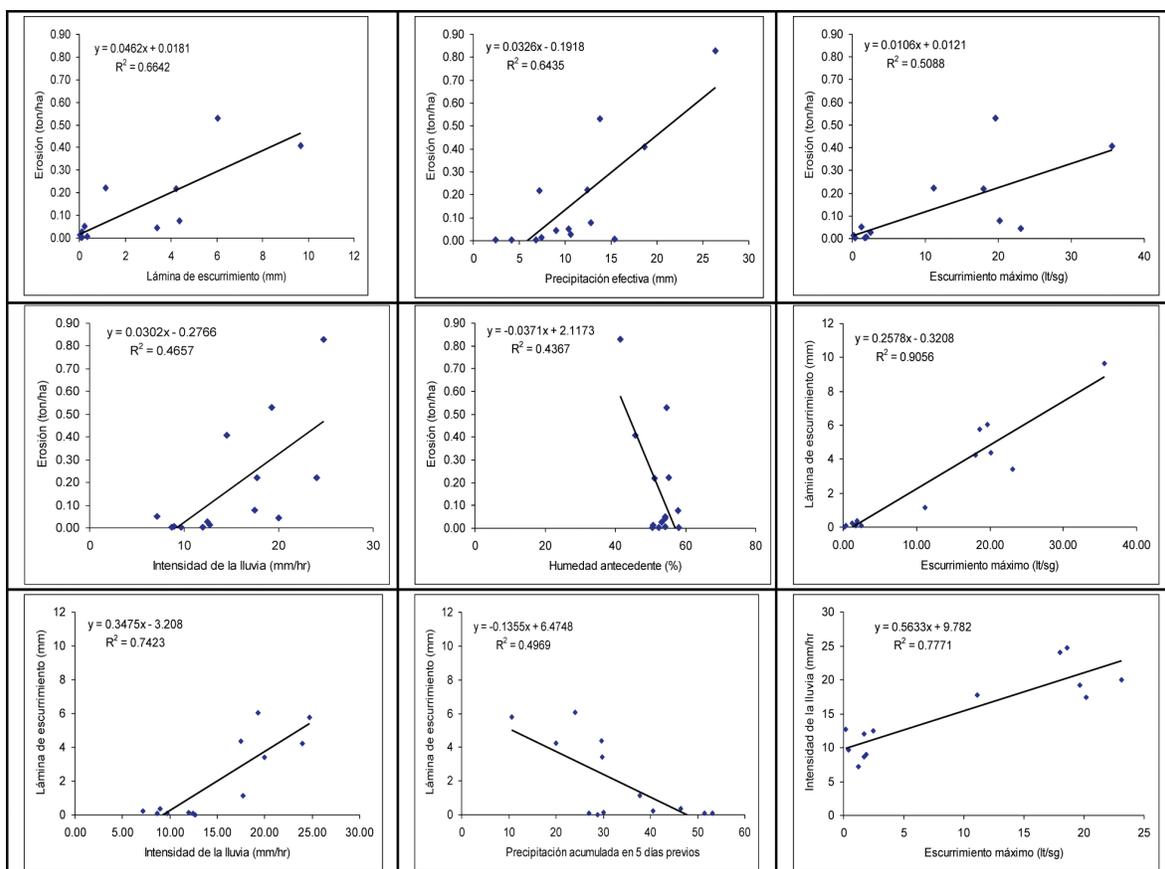


Ilustración 2. Análisis de correlación entre la erosión, el escurrimiento y la precipitación con las diversas variables que mejor respuesta tuvieron.

Al igual que Viramontes et al. (2008), no fue posible encontrar un modelo de regresión múltiple con resultados estadísticamente significativos, y es claro que se

debe a la gran variabilidad de los datos observados, aunque quizá se pueden encontrar mejores correlaciones al analizar eventos de otros años de estudio.

Sin embargo, analizando el límite de precipitación efectiva relacionada con la intensidad de la lluvia, se observa que pueden tenerse láminas de lluvia de 4.2 mm e intensidades de 8.69 mm/h, y se genera escurrimiento y erosión, pero fue fundamental la humedad antecedente en el suelo y la precipitación acumulada en los cinco días previos, como sucedió en el evento del 12 de agosto.

Para todos los eventos se tuvo el comportamiento del tipo Horton, porque el escurrimiento se presentó una vez que se superó la velocidad de escurrimiento del perfil del suelo.

En cuanto a la relación lluvia-escurrimiento, la mejor correlación que se obtuvo fue al relacionar la lámina de escurrimiento con la intensidad de la lluvia, lo cual coincide con lo reportado por Francisco (2005) y Medard (1994), quienes mencionan que la relación directa entre la precipitación y el escurrimiento es difícil de explicar si no se establece que la información analizada es por evento de precipitación, que se conoce sólo la cantidad de lluvia precipitada y no la duración, que no se toman en cuenta los contenidos de humedad del suelo al momento del evento y que no se consideran los cambios en la cobertura del suelo, definida como la condición hidrológica de los suelos, aspectos importantes para determinar la relación de precipitación-escurrimiento en cualquier sitio. Para este estudio se consideraron estos aspectos, aunque finalmente se concluye que los suelos andosoles son especiales en relación con su respuesta hidrológica, y se requiere de una investigación permanente para explicar mejor los procesos de escurrimiento y erosión.

Manejo y aprovechamiento del agua de lluvia con Keyline

El predio donde se aplicó la metodología se localiza en el municipio de Alpuyecá, Morelos, y consta de una superficie de 1.3 ha con topografía ondulada y suelos franco-arcillosos. El primer elemento de insumo para el trazo del sistema *Keyline* fue disponer de un plano del sitio de interés con curvas a nivel. Apoyados en este y con recorridos de campo se eligió el punto clave, cuya curva de nivel se transforma en la línea clave. A partir de esta línea se realizó el trazo de los surcos paralelos a dicha línea, tanto hacia arriba como hacia abajo de la misma. El cultivo sembrado es de maíz de temporal y la precipitación media anual del sitio es de 745 milímetros.

Para determinar el contenido de humedad se utilizó el método gravimétrico. Las muestras fueron secadas en estufa a una temperatura de 108 °C durante 24 horas. Los muestreos para la determinación del contenido de humedad se realizaron tanto en la zona del fondo del surco como en el bordo del mismo durante un ciclo agrícola. Las profundidades de muestreo fueron de 0-15 cm y 15-30 cm en el bordo y únicamente de 0-15 en el fondo del surco; esto debido a la escasa profundidad del suelo.

La tabla 3 presenta los resultados obtenidos. En la primera columna aparece la fecha de muestreo, en la segunda, cuarta y sexta columnas aparecen los datos de contenido de humedad en el suelo en la cresta o parte alta del terreno, mientras que en las columnas tres, cinco y siete aparece la información correspondiente a la parte baja o valle del terreno. Las pro-

fundidades del muestreo aparecen en el encabezado de las columnas, donde también se indica si el muestreo se realizó en el bordo o en el fondo del surco.

Tabla 3. Contenido de humedad en suelo (%) en surcado a Keyline. Alpuyeca, Morelos.

Fecha de muestreo (DD-MM-AA)	CRESTA	VALLE	CRESTA	VALLE	CRESTA	VALLE
	BORDO	BORDO	SURCO	SURCO	BORDO	BORDO
	0-15 (cm)	0-15 (cm)	0-15 (cm)	0-15 (cm)	15-30 (cm)	15-30 (cm)
30-07-10	16.03	8.62	21.45	19.57	17.28	16.01
12-08-10	24.15	19.8	24.19	22.39	29.91	20.17
19-08-10	23.79	22.97	29.9	18.46	28.69	20.96
01-09-10	25.5	18.2	22.83	19.31	29.88	24.39
14-09-10	29.33	16.14	19.95	19.9	21.81	19.17
28-09-10	28.37	26.21	27.45	27.75	30.15	25.62
07-10-10	19.21	16.2	17.02	14.56	20.93	17.53
20-10-10	13.84	11.98	11.82	6.73	11.58	11.32
09-11-10	8.75	8.4	10.2	9.71	10.14	9.26
22-11-10	8.3	5.74	8.62	4.59	9.13	6.12
03-12-10	9.52	8.64	6.74	5.64	9.00	6.17
Suma:	206.79	162.9	200.17	168.61	218.5	176.72
Promedio:	18.80	14.81	18.20	15.33	19.86	16.07

Los resultados muestran claramente que existe la tendencia que se mantiene en el tiempo de muestreo, de que la humedad es mayor en la cresta o parte alta del terreno que en la parte baja o valle del mismo. Este comportamiento es contrario a lo normalmente encontrado en los terrenos agrícolas que no siguen el trazo de Línea Clave, por lo que se deduce que esta condición es debida a la influencia del trazo mencionado, mismo que lleva el agua de la parte baja a la parte alta del terreno gracias al sentido del surcado en el terreno. Puede, asimismo, verse que los valores medios de contenido de hume-

dad son consistentemente mayores en la parte alta (cresta) que en la parte baja (valle) del terreno. Para una visualización de lo encontrado, la ilustración 3 muestra el caso del contenido de humedad en el bordo de los surcos a una profundidad de 15 a 30 cm para el surcado con el sistema de Línea Clave, donde puede verse de manera gráfica lo antes expuesto. Se observa que el contenido de humedad en el suelo, en general, aumenta en los meses de agosto y septiembre, y después disminuye a partir de los inicios de octubre, reflejando indudablemente el periodo de lluvias en la región.

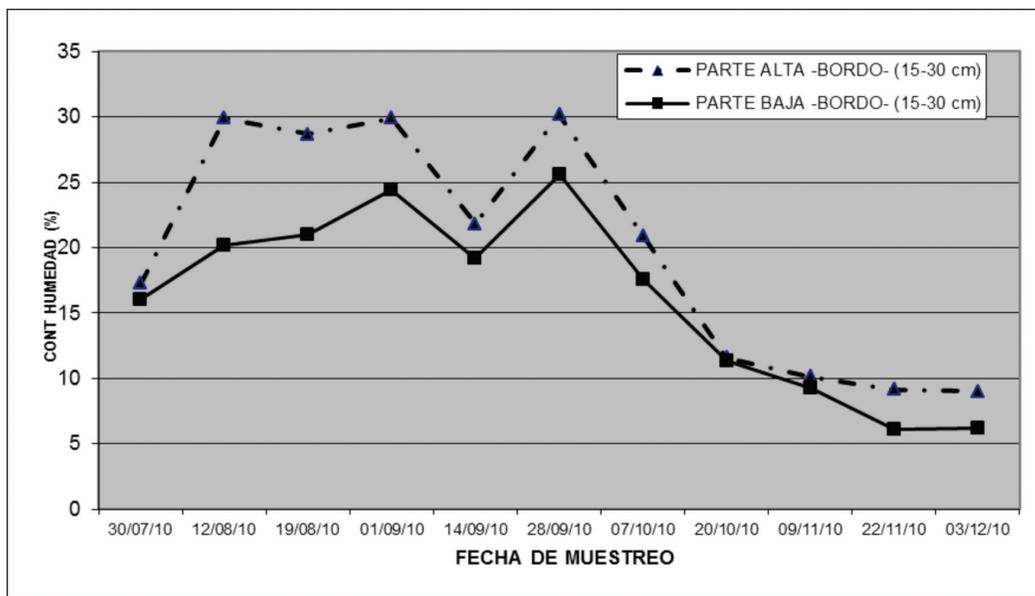


Ilustración 2. Análisis de correlación entre la erosión, el escurrimiento y la precipitación con las diversas variables que mejor respuesta tuvieron.

Conclusiones

Los cultivos de escarda sembrados en surcos al contorno impactan en la reducción del escurrimiento superficial y en la pérdida de suelo con una eficiencia promedio del 40.0%. Por su parte, en los cultivos de cobertera como el pasto y la avena, la eficiencia promedio fue de 62.0%. Esto indica que al utilizar cultivos de escarda en laderas, se requiere complementar con prácticas de manejo como las terrazas, debido a que se trata de pendientes superiores a 30%. Las diferencias observadas en la producción de sedimentos entre los cultivos de escarda y los de cobertera se debieron a que, en los primeros, se realiza movimiento de suelo después de la siembra, haciéndolos más frágiles a la erosión.

Los suelos andosoles tienen una alta capacidad de infiltración del agua de lluvia cuando están en condición seca del per-

fil del suelo, y por tanto es difícil que se puedan generar muchos eventos de escurrimiento. Sin embargo, una vez que se tienen condiciones de humedad cercana a capacidad de campo se satura el suelo rápidamente a intensidades de lluvia superiores de, al menos, 8.0 mm/h, y es entonces cuando se presenta movimiento del agua sobre la superficie arrastrando las partículas del suelo provocando la erosión. Se comprueba que los 14 eventos cuantificados fueron suficientes para generar tasas de erosión importantes. Por otro lado, se concluye que los primeros eventos de escurrimiento que se presentan en los meses de junio y julio son capaces de producir hasta el 37% del total de los escurrimientos y el 68% de la erosión del suelo.

Para los suelos andosoles y los tipos de lluvia que se presentan en la zona de estudio, la erosión del suelo estuvo correlacionada con el proceso lluvia-escurrimiento,

principalmente con las variables lámina de escurrimiento, precipitación efectiva, escurrimiento máximo e intensidad de la lluvia. Sin embargo, se esperaba una mejor correlación con el contenido de humedad antecedente, pero no fue así. No obstante, analizando puntualmente cada evento se identificó que en todos los casos y para cada uno de los eventos de escurrimiento superficial que se presentó se tuvieron humedades del suelo cercanas a capacidad de campo. A su vez, el escurrimiento superficial se correlacionó de manera satisfactoria con la intensidad de la lluvia y el escurrimiento máximo. No fue posible encontrar modelos de regresión múltiples con resultados estadísticamente significativos, lo que puede solventarse con información generada en más años de estudio que puedan explicar mejor las correlaciones que puedan existir en el proceso lluvia-escurrimiento-erosión en este tipo de suelos.

Los resultados obtenidos de los experimentos realizados en campo en el sur de Morelos, mostraron que labrando el terreno siguiendo el método de la Línea Clave (sistema *Keyline*) se retiene mayor cantidad de agua en el suelo y por más tiempo, que si se laborea el terreno con el método tradicional.

Se comprobó que efectivamente el método permite una mayor retención de humedad en el suelo, lo que facilita mayor existencia de vegetación y, por tanto, mayor presencia de raíces. Si todo lo anterior es bien manejado, se puede acelerar la formación de suelo fértil y capturar CO₂. Con más humedad y vegetación se embellece el paisaje, se estabiliza el clima y se mejora la productividad agrícola del suelo.

Es necesario mencionar que la información aquí mostrada corresponde a trabajos realizados sólo en un ciclo de lluvias. Aunque se tiene la certeza de que el método es efectivo, para tener resultados concluyentes es necesario continuar con este tipo de estudios y tomar datos en cuanto a variables como rendimientos del cultivo y efectos de la diferencia de humedad en el suelo en los micro y macroorganismos del suelo, las consecuencias que ello pueda tener en el aumento en la fertilidad y profundidad del suelo y demás ventajas que se desprenden de una mayor absorción y retención de agua en el suelo.

Bibliografía

FRANCISCO, N. 2005. *Productividad y erosión hídrica en tres sistemas de manejo del cultivo doble de maíz en una ladera del trópico subhúmedo de México*. Tesis de Doctorado. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, 2005, 122 pp.

GAREN, D. C. and MOORE, D. S. 2005. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. *Journal American Water Resources Association*, 41(2):377-388, 2005.

HUSSAIN, I., OLSON, K. R. and SIEMENS, J. C. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Science*, 163(12): 970-981, 1998.

LAWRENCE, P. A., RADFORD, B. J., THOMAS, G. A., SINCLAIR, D. P. and KEY, A. J. 1994. Effect of tillage practices on wheat performance in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 28(3-4): 347-364, 1994.

LINDSTROM, M. J., SCHUMACHER, T. E., COGO, N. P. and BLECHA, M. L. Tillage: Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(1): 59-63, 1998.

MEDARD, A. J. 1994. *Evaluación de la producción de sedimentos y del escurrimiento superficial en pequeñas cuencas agrícolas*. Tesis de Maestría. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, 1995, 135 pp.

MISHRA, S. K., SAHU, R. K., ELDO, T. I. and JAIN, M. K. An improved Ia-S relation incorporating antecedent moisture in SCS-CN methodology. *Water Resources Management*, 20(5):643-660. 2006.

RIVERA, R. P., MEDINA, M. R. WRUCK, S. W. y GÓMEZ, G. A. *Estudio de erosión hídrica actual de la cuenca Villa Victoria, Estado de México*. Memoria Técnica. Jiutepec, Mor.: Comisión Nacional del Agua-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1997, 21 pp.

SOIL CONSERVATION SERVICE. Estimation of direct runoff from storm rainfall. Ch. 10. *In Hydrology National Engineering Handbook*. Suppl. A, Sect. 4. Washington, DC: USDA-SCS, 1985.

TAPIA, V. L. M., TISCAREÑO, L. M., VELÁZQUEZ, V. M., ROCHA, A. J. L. y OROPEZA, M. J. L. *Modelación de la erosión y escurrimiento en suelos de ladera en la cuenca del lago de Pátzcuaro*. Publicación Técnica N° 3. Morelia, Michoacán: INIFAP-CENAPROS, 2004, 44 pp.

TISCAREÑO, L. M., BÁEZ, G. A. D., VELÁZQUEZ, V. M., POTTER, K. N., STONE, J. J., TAPIA, V. L. M. and CLAVARAN, A. R. Agricultural research for watershed restoration in central México. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54(4): 686-692, 1999.

TRUMAN, C. C. and WILLIAMS, R. G. Effects of peanut cropping practices and canopy cover conditions on runoff and sediment yield. *Journal of Soil and Water Conservation*. 56(2): 152-159, 2001.

VELÁSQUEZ, V. M. A. *Análisis fractal de la rugosidad de un andosol como indicador de su erosionabilidad*. Tesis Doctoral. Progra-

ma de Hidrociencias. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, 2006, 177 pp.

VIRAMONTES, D., ESTEVES, M., DESCROIX, L., DUWING, C., ROJAS, R. F., GUTIÉRREZ, A. y De León. M. B. 2008. Cuantificación del escurrimiento y erosión hídrica en andosoles de una microcuenca experimental en Valle de Bravo. *Ingeniería hidráulica en México*, Vol. XXIII, núm. 3, julio-septiembre, 2008, pp. 89-103.

YEOMANS, P. A. *Keyline Plan*. Sydney, Australia: Waite and Bull, 1954, 125 pp.

_____. *The challenge of landscape*. Sydney, Australia: Keyline Publishing Pty. Limited., 1958, 273 pp.

_____. *Water for every farm*. Yeomans Keyline Plan. Netley, South Australia: Griffin Press Pty Limited, 1993, 261 pp + Index.

Resumen curricular

Pedro Rivera Ruiz. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma Chapingo (1990), maestría en Ciencias en Edafología (1996) y candidato a doctor en Hidrociencias por el Colegio de Postgraduados. Líneas de investigación: manejo integral de cuencas hidrográficas, conservación de agua y suelo, erosión-productividad, modelos hidrológicos aplicados a cuencas, modelos matemáticos de erosión, análisis multiescala de los procesos lluvia-escurrimiento-erosión, evaluación de técnicas de preparación de suelos para reforestación y procesos hidrológicos.

Héctor Gregorio Cortés Torres. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma Chapingo (1983) y maestría en Ciencias por el Colegio de Postgraduados (1991). Líneas de investigación: conservación de agua y suelo, manejo de cuencas hidrográficas, modelos de erosión hídrica, relación

bosque-agua y lluvia-escurrimiento y diseño hidrológico del terreno con el sistema Keyline.

Raúl Medina Mendoza. Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Guadalajara (1985) y maestría en Ciencias Agrícolas y de los Recursos Naturales por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica (1989). Líneas de investigación: rehabilitación de cuencas hidrográficas, prácticas de conservación

de agua y suelo, planeación participativa de los recursos naturales en microcuencas y fincas, y servicios ambientales hídricos.

Werner Wruck Spillecke. Ingeniero Agrónomo por la Gesamthochschule Kassel, Alemania (1981) y maestría en Ingeniería por el Instituto Tecnológico de Sonora (1996). Líneas de investigación: manejo de cuencas hidrográficas, planificación regional rural y conservación de recursos naturales (suelo, agua, vegetación).

DESARROLLO Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA TIC-ELECTRÓNICA (GPS) PARA LA OPERACIÓN (ICAM-RIEGO) Y CONSERVACIÓN (ICAM-SISCON) DE ZONAS DE RIEGO, EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO Y EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL RIEGO PRESURIZADO

Javier Ramírez¹

Resumen

Para irrigar un cultivo el flujo de agua debe salir de la fuente de almacenamiento, transitar por cauces, cuantificarse en sitios, bombearse de drenes, maniobrar válvulas y llegar a la parcela. La maniobra es realizada por el operador de canales y el riego lo aplica el regador. Antes de este ideal recorrido, el servicio de riego tuvo que haber sido pagado y facturado; los caminos, pozos y redes interparcelarias reparados; los drenes limpiados, y las instituciones oficiales haber autorizado los cultivos sembrados. El flujo de información y tecnología requerida en este proceso da origen al grupo tecnológico Información

de Campo y Administrativa de Módulos de Riego (ICAM-Riego).

El presente artículo, para el caso de la operación (ICAM-Operación) de zonas de riego, describe desarrollos tecnológicos propios y comerciales que tienen la finalidad de generar sistemas de información geográfica del padrón de usuarios e inventario de la infraestructura hidroagrícola; facturar y coleccionar el servicio de riego y maquinaria; dar seguimiento a permisos de siembra; procesar información hidroagrícola y realizar sus reportes, incluidos los geográficos. Con respecto a la conservación (ICAM-Conservación o Siscon) de zonas de riego, se encadena el funcionamiento

-
1. Equipo ICAM-Riego. Programadores e ingenieros en Sistemas: Omar Ballesteros Sánchez, Magdalena González Vásquez, Marisol García Segura, Nancy Rebolledo Martínez, Marlon Espinosa Guerrero, Nayelli Cuate Rosas, Yedid Riquelme Rodríguez y María de la Luz Hernández. Ingenieros eléctricos y electromecánicos: César Soriano Catana, Giovanni Rodríguez Gómez y Laura Bautista Álvarez. Ingenieros civiles: Ivonne Vega y Carlos Valenzuela. Ingeniero en Irrigación: Serafín García Pérez. Asesores por parte del IMTA: M.I. Ernesto Olvera Aranzolo y Dr. Víctor Ruiz Carmona.

del sistema de inventario de infraestructura hidroagrícola; se planifican necesidades; se enumeran los conceptos y se calculan sus cantidades, y se da seguimiento al uso de maquinaria y equipo en labores mediante el uso de equipos GPS ensamblados por personal del Instituto.

Medir el flujo de agua en la red de distribución y su integración en volúmenes para la estadística hidrométrica da utilidad a la medición de caudales. Para ello, se requirió desarrollar un equipo ultrasónico para utilizarse en puntos de control y a nivel parcela, con objeto de ingresar valores directamente a la base de datos del sistema ICAM-Operación. Dicha tecnología se denominó “caudalímetro ultrasónico”, el cual tiene telemetría GSM/GPRS, radio frecuencia y hasta la fecha avances en su conexión directa a un servidor (ICAM-Medición).

El aporte del equipo ICAM al riego parcelario es conjuntar una tecnología comercial de energía renovable fotovoltaica y eólica para proporcionar la energía requerida a una aplicación eficiente del agua, como una de las adaptaciones al cambio climático; una aplicación de la energía renovable al riego presurizado en microaspersión y goteo, una conjunción de ingeniería hidráulica, electrónica y eléctrica (ICAM-Energía).

Introducción

México debe tener una agricultura rentable para el bienestar de sus usuarios. La combinación de elementos tales como el clima, plagas y enfermedades, operativos y de mercado incrementan o disminuyen el impacto económico en los agricultores. Ante la variación de estos elementos, se

requiere una planeación agrícola conforme a la disponibilidad de agua, y conforme a las leyes de oferta y demanda del mercado.

Dicha planeación necesita información estadística que los usuarios del agua obtienen del riego diariamente. La misma debe estar disponible en tiempo y espacio para constituirse en una herramienta de apoyo en la toma de decisiones a diferentes niveles institucionales: operadores y administradores de un módulo; instituciones intermedias que requieren información en sectores agrícolas municipales y estatales, e instituciones federales como la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

El propósito de este grupo de tecnología es desarrollar las herramientas requeridas para coleccionar, procesar, cuantificar, elaborar reportes de toda la información hidroagrícola y de mercado, así como enviarla a los sitios necesarios para que cada institución logre la planeación integral de la agricultura con un enfoque de rentabilidad para capitalizar el campo.

Problemática y soluciones propuestas

En la mayor parte de las áreas de riego en México, es decir, 85 distritos de riego (DR), con unas 450 asociaciones de usuarios, y unidades de riego con 39,540 usuarios, la colecta del servicio de riego es manual y regularmente se lleva en cuadernos del operador de canales, mientras que el procesamiento puede hacerse con apoyo de computadoras y aplicaciones como *Excel*. La facturación del servicio de riego y maquinaria es incipiente o no existe. La

maniobra de compuertas es manual y la medición es inexistente a nivel parcelario y en la mayoría de la red de distribución. Respecto a la conservación se tiene el mismo esquema, no obstante que es sabido que el 60% del presupuesto de una asociación se utiliza en conservación.

El usuario tiene información en tiempo real de su superficie sembrada y cultivo establecido. El operador del agua la entrega a las parcelas y la persona que factura tiene montos por los servicios de riego y maquinaria. Esta información se agrupa y sistematiza en la herramienta ICAM, cuyo propósito es constituirse en una herramienta de tecnología de información y comunicación (TIC) para intercambiar información hidroagrícola en tiempo real a nivel institucional en el sector agrícola, a fin de apoyar una planeación integral agrícola.

Finalmente, el problema que resuelve la tecnología integrada de energía renovable en riego presurizado es el suministro de energía (Kemp W. H., 2005), adaptado a un diseño de riego en una relación óptima entre la pérdida dinámica total

(French R.H., 1985) y la energía renovable a suministrar.

Descripción de la tecnología

La versión reciente del sistema ICAM-Operación incorpora las versiones Internet de los sistemas de: 1) información geográfica del padrón de usuarios e inventario de infraestructura hidroagrícola en imagen de satélite (SIG), 2) apoyo a la administración en oficina, a saber, permiso único de siembra, facturación en recibo o facturación electrónica, 3) apoyo técnico o gerencial como: sistema de dotación volumétrica y transferencias, o banco de agua electrónico; es decir, el balance de volumen aplicado y dotado por usuario, así como el sistema SPRITER como el realizador de estadística y reportes, incluidos los hidroagrícolas en imagen de satélite, y 4) colecta de información del servicio de riego (ilustración 1). En la actualidad, se trabaja en la incorporación del sistema de mercado en línea con colecta de información de campo tipo socioeconómico; por ejemplo, precio del producto, rendimiento, etc., e incluye el mercado a satisfacer.

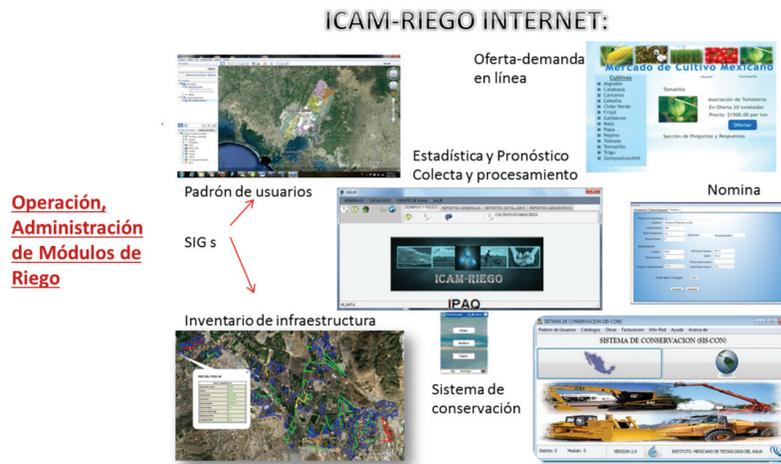


Ilustración 1. ICAM-Riego Internet.

En la versión ICAM-Conservación se hace uso del sistema de inventario de infraestructura hidroagrícola en una versión que incorpora información detallada topogeométrica e hidráulica de la red de canales, drenes y caminos, así como de toda la infraestructura de control, distribución, medición y protección debido a que se utiliza para la estimación

de cantidades de obra de los conceptos de conservación. Se realiza, además, la facturación del servicio de maquinaria y se da seguimiento mediante GPS a los recorridos de los equipos, ya que efectúa una estimación en tiempo real de consumos de combustibles, horas de operación y mantenimiento preventivo (ilustración 2).

Conservación, Inventario de Infraestructura y GPS
ICAM-RIEGO INTERNET: SIS-CON + FACTURACIÓN



Ilustración 2. Sistema de conservación.

El ICAM-Operación cubre, actualmente, la mayor parte del quehacer administrativo y técnico de una asociación de usuarios de agua de riego. En particular, permite el cálculo del desempeño de una zona agrícola con el apoyo de la colecta de aforos en puntos de control y de entrega de agua a parcelas, como se muestra en la ilustración 3.



Ilustración 3. Formatos de captura de aforos y riego parcelario.

ICAM se prepara para una colecta automática del servicio de riego en toma parcelaria y colecta de aforos en puntos de control. Se requiere que la integral del caudal en el tiempo ingrese del medidor en campo

a la base de datos del sistema de estadística, a fin de darle utilidad a la medida del caudal en tiempo real. Para ello, el Instituto desarrolló un caudalímetro ultrasónico (ilustración 4).

Funcionamiento del prototipo en Campo durante meses

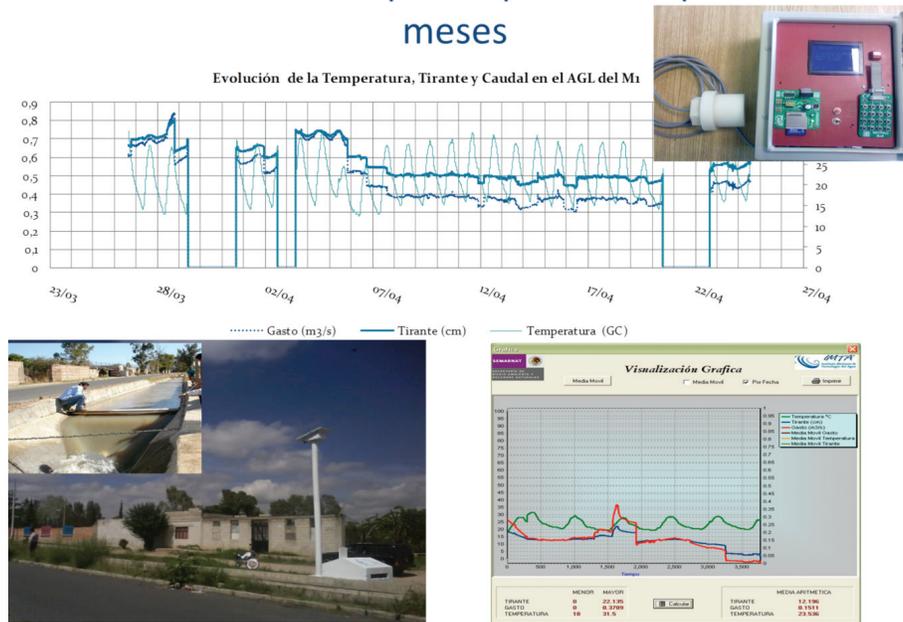


Ilustración 4. Caudalímetro ultrasónico e infraestructura de medición.

Dicha tecnología se compone de elementos electrónicos comerciales, en especial, del sensor de nivel con corrección por temperatura para lograr una resolución de 1.3 mm. La infraestructura de medición requerida es un aforador de garganta larga y una compuerta calibrada a descarga libre y ahogada. Permite el muestreo de aforo cada dos minutos y posee telemetría GSM/GPRS, radio frecuencia y tiene avances vía protocolo FTP para interactuar directamente con un servidor (Clavijo Mendoza Juan R., 2011). Se cuenta con un sistema (UltraSys e INRA) que procesa automáticamente los datos recibidos por correo electrónico y radio, y los muestra en gráficas

con ventanas temporales variables. El objetivo fundamental es cuantificar el volumen e ingresarlo a la estadística hidrométrica del ICAM-Operación.

Por último, ICAM-Energía resuelve el suministro de energía a un sistema de riego presurizado de cultivo de piña en 6 ha, sin el uso de baterías químicas. La solución se presentó al diseñar cárcamos y almacenes de rebombeo para satisfacer la carga total requerida del sistema de riego por microaspersión, que fue del orden de 40 m de columna de agua (ilustración 5). Se hizo el diseño para instalación de bombas de corriente directa alimentadas con paneles solares y

aerogenerador doble de turbina para 3 m/s de velocidad media del viento (Edminister

D. J., (1965). La instalación combina elementos de hidráulica y electro-electrónica.

Riego Presurizado con energía renovable

Construir un cárcamo de bombeo con galería filtrante⁽¹⁾ para almacenar agua con energía potencial (12 m)⁽²⁾ y suministrar mediante re-bombeo el agua a las melgas de piña⁽³⁾.



Ilustración 5. Riego presurizado en micro aspersion con energía renovable en el municipio de Rodríguez Clara, Veracruz.

Métodos

Para desarrollar los sistemas se utilizan plataformas .NET y bases de datos MySQL (Doyly M., 2010; Quijado, L. J., 2010; Ojeda, C. F., 2010). Para el caso del medidor de caudal es el ensamble y desarrollo de componentes electrónicos y, para el suministro de energía renovable, es la integración de soluciones comerciales disponibles en el mercado.

Resultados

Se ha desarrollado y transferido el ICAM-Operación para asociaciones del DR 005 Delicias, Chihuahua; el DR 023 San Juan del Río, Querétaro y hoy en día, en versión Internet, se encuentra en etapa de transferencia para el Módulo Santa Rosa en los Mochis, Sinaloa, en el marco del Pacto del Agua por dicho estado.

El sistema ICAM-Conservación ha sido desarrollado y aplicado en el DR 061 Zamora, Michoacán.

Instalaciones previas del caudalímetro se tienen en el DR 023 y Cuencas del Lago Pátzcuaro, y una aplicación de mareógrafo para las costas de Tamaulipas y Colima. Esta última aplicación es en versión de monitoreo de nivel, tan usual en operación de canales de riego.

El suministro de energía renovable se ha llevado a cabo en 6 ha en cultivo de piña para cargas totales del orden de 40 ms para riego por microaspersión en el municipio Rodríguez Clara, Ver., y para goteo en 1 ha en la unidad de riego Jalpan, Qro., en cultivos mezcla (maíz, calabacita, frijol), para una carga del orden de los 33 metros.

Conclusiones

El desarrollo de esta tecnología requiere de amplios conocimientos en materia de informática, comunicación, hidráulica, eléctrica-electrónica, mecánica, energías renovables y agronomía. La conformación de estos grupos de desarrollo tecnológico es multidisciplinaria, lo que magnifica la ventaja cognitiva y el potencial a transferir para desarrollar la agricultura del país.

El desarrollo de tecnología para instrumentar la medición del caudal permite, con breves modificaciones, su adaptación a la maniobra de compuerta, que bien puede acoplarse al uso de energías renovables para efecto de maniobra.

México tiene mucha energía renovable no explotada por nuestra sociedad que presenta la ventaja de estar disponible en todo su territorio, y sus aplicaciones pueden ser diversas. Para el caso del riego presurizado en cultivo de piña, un sencillo análisis de costo-beneficio indica que la inversión es recuperada es del orden de los tres a cinco años.

Referencias

CLAVIJO MENDOZA, JUAN R. Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C. Colombia, 2011, pp. 91-93 y pp. 177-182.

DOYLE, M. PHP práctico. España, 2010, 848 pp.

EDMINISTER, D. J. Circuitos eléctricos. Inglaterra, 1965, 294 pp.

FRENCH R.H. Hidráulica de canales abiertos. México, 1985, 724 pp.

KEMP W. H. The Renewable Energy Handbook. Canadá, 2005, 567 pp.

OJEDA C. F. Asp.Net 4.0. España, 2010, 352 pp.

QUIJADO L.J. Domine PHP y MySQL. México, 2010, 628 pp.

Resumen curricular

Javier Ramírez. Ingeniero en Irrigación por la Universidad Autónoma Chapingo (1990) y doctor en Hidráulica por la Escuela Nacional de Ingeniería de Aguas y Bosques, campus Montpellier, Francia (1997). Especialista en hidráulica del IMTA. Ha recibido Reconocimiento Institucional a la Innovación en 2009 y 2010.

GASTO ÓPTIMO EN RIEGO POR MELGAS

H. Saucedo

Introducción

El objetivo del diseño de riego por melgas es conseguir la aplicación de la lámina de riego requerida por el cultivo, de la manera más uniforme posible para alcanzar una eficiencia de aplicación alta. El diseño del riego consiste en determinar el gasto óptimo y el tiempo durante el cual se aplica dicho gasto en la cabecera de la melga a fin de lograr la mayor uniformidad de aplicación posible, para una longitud y ancho de melga específicos y un tipo de suelo en particular.

En trabajos de la literatura especializada, se ha verificado que el gasto óptimo de diseño guarda una proporción lineal con la longitud de la melga en la cual debe aplicarse. El resultado es obtenido haciendo uso de un modelo formado por las ecuaciones de Lewis y Milne (1938) para describir el flujo del agua sobre la superficie del suelo, y de Green y Ampt (1911) para describir el flujo del agua en el suelo. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que las formas de las ecuaciones utilizadas por los autores citados son de las más simplificadas en el contexto de la modelación del riego por gravedad, motivo por el cual en este trabajo se verifica la relación de proporcionalidad entre el gasto óptimo y la longitud de la melga, haciendo uso de las ecuaciones de Saint-Venant y Richards.

Flujo del agua sobre la superficie del suelo

El flujo del agua con una superficie libre se modela con las ecuaciones de Saint-Venant, que resultan de la aplicación de las leyes de conservación de masa y cantidad de movimiento. En una melga, la relación entre su ancho y el tirante de agua permite considerar las ecuaciones correspondientes al escurrimiento sobre una superficie de ancho infinito (Woolhiser, 1975). La ecuación de continuidad se escribe como:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$

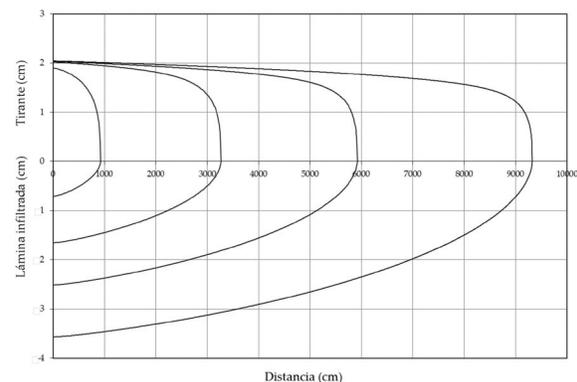


Ilustración 1. Perfiles de flujo obtenidos durante la fase de avance, correspondientes a tiempos de 1, 5, 10 y 20 minutos.

La ecuación de momentum se escribe en la forma recomendada por Saucedo *et al.* (2005):

$$\frac{1}{h} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{2q}{h^2} \frac{\partial q}{\partial x} + \left(g - \frac{q^2}{h^3} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + g(J - J_o) + \beta \frac{q}{h^2} \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$

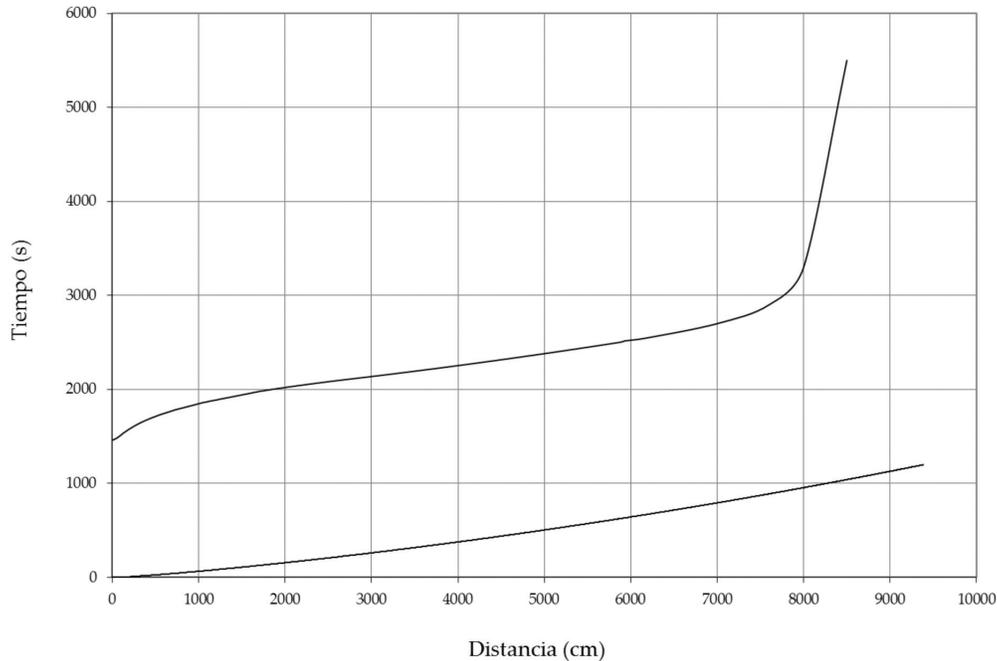


Ilustración 2. Curvas de avance y recesión.

donde $q(x,t) = U(x,t)h(x,t)$ es el gasto por unidad de ancho de melga $[L^2T^{-1}]$, x es la coordenada espacial en la dirección principal del movimiento del agua en la melga $[L]$; t es el tiempo $[T]$; U es la velocidad media; h el tirante de agua $[L]$; J_o es la pendiente topográfica de la melga $[LL^{-1}]$; J la pendiente de fricción $[LL^{-1}]$; $V_i = \partial I / \partial t$ es el flujo de infiltración $[LT^{-1}]$, es decir, el volumen de agua infiltrado en la unidad de tiempo por unidad de ancho y por unidad de longitud de la melga, I es la lámina infiltrada $[L]$; g es la aceleración gravitacional $[LT^{-2}]$; el parámetro adimensional $\beta = 1 - \alpha$

, siendo $\alpha = 1 - U_{ix} / U$, donde U_{ix} es la proyección en la dirección del movimiento de la velocidad de salida de la masa de agua debido a la infiltración.

La relación entre las variables hidráulicas q y h con la pendiente de fricción, denominada “Ley de resistencia hidráulica”, es adoptada de acuerdo con Fuentes *et al.* (2004), haciendo uso de una ley potencial de resistencia: $q = kv(h^3 g J / \nu^2)^d$, donde ν es el coeficiente de viscosidad cinemática del agua $[L^2T^{-1}]$ y k es un factor adimensional.

Para establecer las condiciones inicial y de frontera que deben sujetar a las

ecuaciones de Saint-Venant a fin de modelar el riego por melgas, se tiene en cuenta una melga cerrada, con objeto de evitar la pérdida de masa fuera del dominio de riego. Para la fase de avance se tiene: $q(x,0)=0$; $h(x,0)=0$ y $q(0,t)=q_o$, $q(x_f,t)=0$, $h(x_f,t)=0$, donde $x_f(t)$ es la posición del frente de onda para el tiempo t y q_o el gasto de aporte en la cabecera de la melga. Para la fase de almacenamiento: $q(0,t)=q_o$, $q(L,t)=0$, donde L es la longitud de la melga y q_o el gasto de aporte en la cabecera de la melga. Para la fase de consumo: $q(0,t)=0$, $q(L,t)=0$. Para cerrar el sistema es necesario conocer la forma en que evoluciona en el tiempo la lámina infiltrada en toda posición sobre la

melga, es decir la ley de infiltración, la cual es proporcionada con base en la solución de la ecuación de Richards (1931).

Flujo del agua en el suelo

La descripción del proceso de infiltración del agua en el suelo puede efectuarse teniendo como base la ecuación de Richards (1931), que resulta de la combinación de la ecuación de continuidad con el campo de velocidades calculado conforme a la ley de Darcy y que en su forma tridimensional, sin tener en cuenta la extracción de agua por las plantas, se escribe como:

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \nabla \cdot [K(\psi) \nabla \psi] - \frac{dK}{d\psi} \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

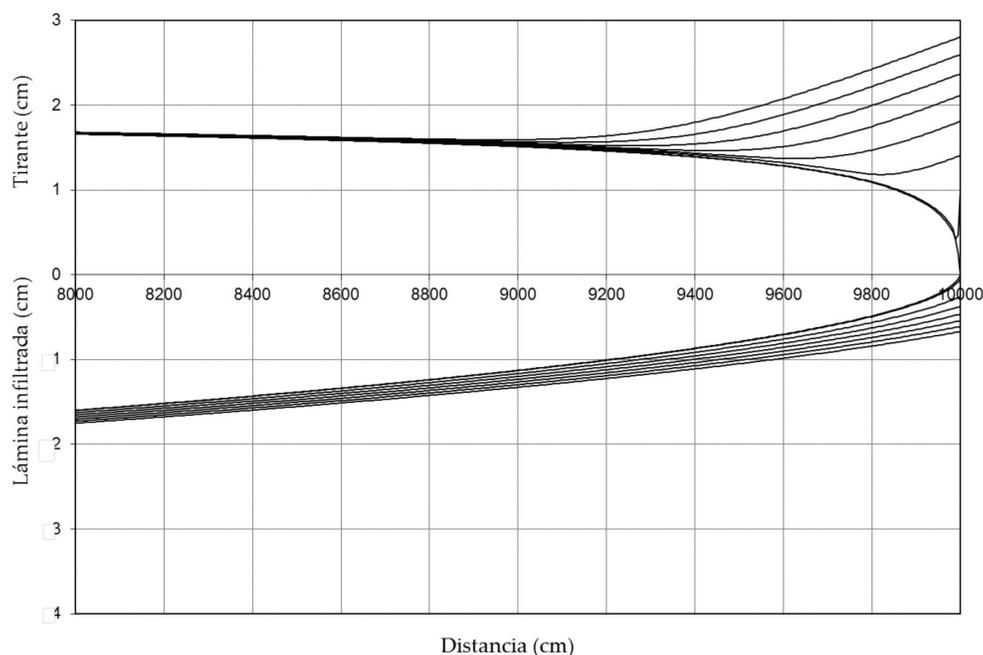


Ilustración 3. Detalle de la evolución de tirantes al final de la melga durante la fase de almacenamiento.

donde ψ es el potencial de presión del agua en el suelo expresado como la altura de una columna equivalente de agua [L] (positivo en la zona saturada y negativo en la zona no saturada del suelo); $C(\psi) = d\theta/d\psi$ es denominada la capacidad específica de humedad del suelo, $\theta = \theta(\psi)$ es el volumen de agua por unidad de volumen de suelo o contenido volumétrico de agua [L³L⁻³] y es una función de ψ conocida como curva característica de humedad o curva de retención del agua; $K = K(\psi)$ es la conductividad hidráulica [LT⁻¹] que en un suelo parcialmente saturado es una función del potencial de presión; el potencial gravitacional es asimilado a la coordenada espacial z orientada positivamente hacia abajo

[L], $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ es el operador gradiente; x, y son las otras dos coordenadas espaciales [L] y t el tiempo [T].

El riego es un fenómeno que se efectúa en tres dimensiones, lo cual hace necesario que el flujo del agua en el suelo sea descrito utilizando la ecuación (3); sin embargo, es conveniente aceptar la hipótesis de que el fenómeno se efectúa en planos paralelos al desarrollo de la melga, entonces es posible utilizar la forma bidimensional de la ecuación de Richards:

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right]$$

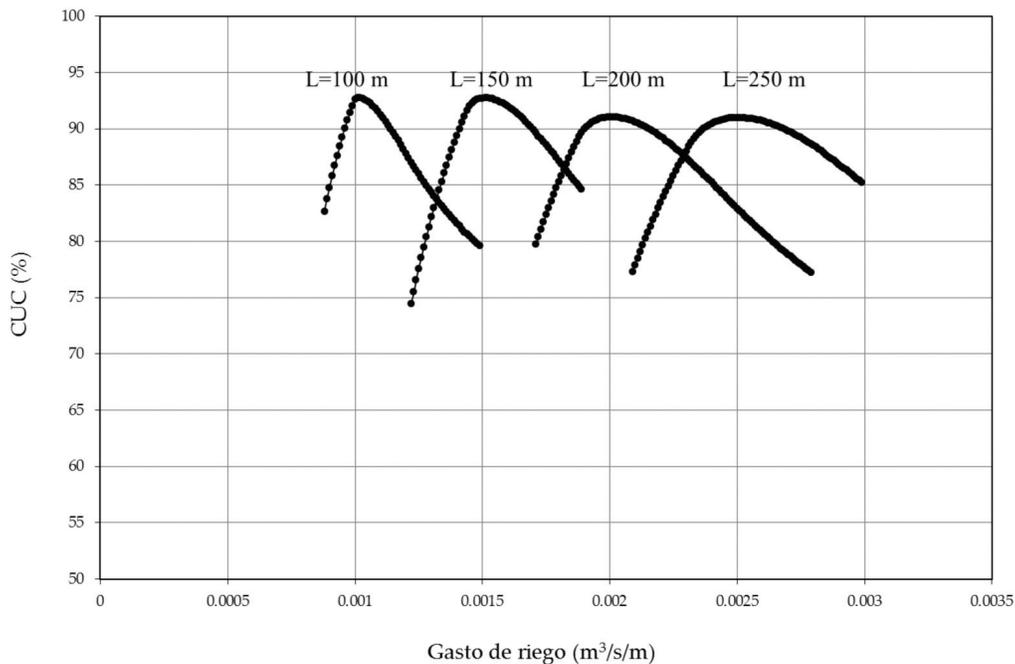


Ilustración 4. Variación de la eficiencia de uniformidad para diferentes longitudes de melga y gastos de aporte en el suelo franco de Montecillo. Lámina de riego: 10 cm.

Habida cuenta de los resultados de Saucedo et al. (2006), sobre el grado de aproximación de la hipótesis del tiempo de contacto en el riego por melgas, es posible simplificar más la aproximación emplean-

do la ecuación de Richards en su forma unidimensional:

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right]$$

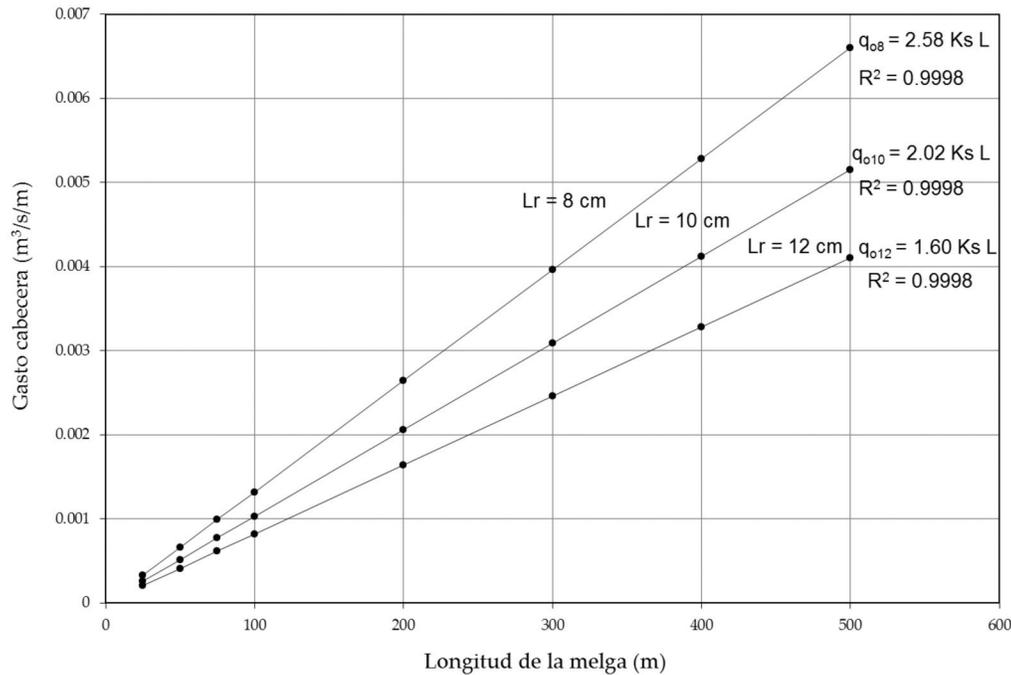


Ilustración 5. Relación entre la longitud de melga y el gasto de aporte óptimo para el suelo franco de Montecillo para tres láminas de aplicación: 8, 10 y 12 cm. Ks en cm/s.

que debe resolverse sobre el dominio de solución definido por una columna de suelo. Como condición inicial para la solución de la ecuación de Richards unidimensional se debe especificar la distribución de las presiones en el espacio: $\psi = \psi_0(z)$, en la superficie del suelo se impone una condición de frontera tipo Dirichlet, con el potencial de presión igual al tirante de agua calculado mediante las ecuaciones de Saint-Venant: $\psi = h$, $z = 0$, $t > 0$, en la frontera inferior se tiene en cuenta una condición de gradiente unitario: $\partial(\psi - z) / \partial z = -1$, $z = P$, $t > 0$,

donde P es la profundidad de la columna de suelo, que debe ser mayor que la máxima posición que el frente de humedecimiento alcanza durante el tiempo en que transcurre el riego.

La solución de la ecuación de Richards hace indispensable representar las propiedades hidrodinámicas del suelo expresando el potencial de presión (ψ) como una función del contenido volumétrico de agua (θ) y la conductividad hidráulica K como una función de θ . Como es señalado por Fuentes

et al. (1992), la combinación de las características hidrodinámicas de Fujita (1952) y Parlange et al. (1982) es conveniente en estudios teóricos, como la construcción de soluciones analíticas exactas, y en estudios experimentales puede ser más conveniente la utilización de la combinación de la curva de retención propuesta por van Genuchten (1980), considerando la restricción de Burdine (1953), con la curva de conductividad hidráulica propuesta por Brooks y Corey (1964), debido a que satisfacen las propiedades integrales de la infiltración y a la facilidad para la identificación de sus parámetros.

Solución numérica

Para el cálculo del gasto óptimo, se hace uso de un esquema numérico para las cuatro fases del riego por melgas desarrollado por Saucedo et al. (2011), el cual permite resolver numéricamente las ecuaciones de Saint-Venant mediante un esquema euleriano-lagrangiano en diferencias finitas y la ecuación de Richards aplicando el método del elemento finito.

El gasto óptimo

En la actualidad existen diversos modelos físico-matemáticos basados en ecuaciones diferenciales o algebraicas, que permiten la descripción de las cuatro fases del riego por melgas. Entre los modelos disponibles se puede mencionar el RIGRAV (Rendón et al. 1997), que utiliza una combinación del modelo hidrológico para describir el flujo superficial, y la ecuación de Green y Ampt (1911) para modelar el flujo del agua en el suelo. Otro modelo disponible es el BRDFLW (Strelkoff, 1985), que utiliza la for-

ma completa de las ecuaciones de Saint-Venant para describir el flujo superficial y una ley de infiltración tipo Kostiakov para describir el flujo del agua en el suelo; es decir, una forma que no tiene base físico-matemática para la descripción del fenómeno. El modelo desarrollado por los autores del presente trabajo tiene utilidad con fines de diseño del riego por melgas, con la ventaja de incorporar dos ecuaciones con base físico-matemática para describir el proceso, las ecuaciones de Saint-Venant para describir el flujo sobre la superficie del suelo y la ecuación de Richards para modelar el flujo del agua en el suelo.

Empleando un modelo numérico desarrollado para el acoplamiento de las ecuaciones de Saint-Venant y Richards, es posible determinar el gasto para el cual se obtiene la mayor eficiencia de uniformidad manteniendo valores lo más elevados posibles de las eficiencias de aplicación y de requerimiento de riego; es decir, para determinar el gasto óptimo de riego. A manera de ejemplo, se realiza la estimación del gasto óptimo para el suelo *franco de Montecillo* reportado en la literatura (Fuentes, 1992). En este caso se tiene: parámetros para la ley de resistencia de Fuentes et al. (2004): $d=1$ (régimen de flujo laminar), $\kappa=1/54$, parámetro en la ecuación de cantidad de movimiento: $\beta=2$, parámetros para la característica de van Genuchten (1980): $\theta_s=0.4865$, $\theta_r=0.0$, $m=0.126$, $n=2.288$, $\psi_d=-32.75$ cm, parámetros para la conductividad de Brooks y Corey (1964): $K_s=1.84$ cm/hr, $\eta=11.0$, valor inicial del contenido volumétrico de agua $\theta_o=0.2749$, pendiente topográfica $J_o=0.002$ cm/c.

En las ilustración 1 se muestran perfiles de flujo típicos para la fase de avance obtenidos mediante el modelo desarrollado por los autores de este trabajo; en la ilustración 2 pueden apreciarse curvas de avance y recesión típicas, y en la ilustración 3 se muestra un detalle de la evolución de tirantes al final de la melga durante la fase de almacenamiento.

Relación entre la longitud de la melga y el gasto óptimo

La eficiencia de uniformidad medida a través del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), puede obtenerse para diferentes combinaciones de longitud y gasto de aporte en la cabecera de la melga. En la ilustración 4 se muestra un ejemplo de los valores que se obtienen para cuatro longitudes de melga en el caso del suelo *franco de Montecillo*; puede apreciarse que la eficiencia de uniformidad varía sensiblemente con el gasto de riego.

Al correlacionar diversos valores de gastos de aporte óptimos y longitudes de melga, es posible establecer que existe una proporción básicamente lineal entre ambas variables para un suelo homogéneo. En la ilustración 5 se muestra la relación que guardan el gasto óptimo y la longitud de la melga para el suelo *franco de Montecillo*. Las láminas aplicadas son 8, 10 y 12 cm; debe apreciarse que existe monotonía en el sentido de que la pendiente de la relación entre la longitud de la melga y el gasto óptimo disminuye conforme se incrementa la lámina de riego.

Conclusiones

Se verificó la relación que existe entre la

longitud de una melga y el gasto óptimo de riego que debe aplicarse para obtener un valor máximo en el coeficiente de uniformidad, así como valores elevados de la eficiencia de aplicación y de la eficiencia de requerimiento de riego de los cultivos. La forma lineal de la proporción ha sido reportada en la literatura, como producto de la aplicación de un modelo hidrológico para el flujo a superficie libre y la ecuación de Green y Ampt para describir el flujo del agua en el suelo. En este trabajo se verifica la relación mediante un modelo hidrodinámico completo que hace uso de las ecuaciones de Saint-Venant, para la descripción del flujo del agua sobre el suelo, acopladas internamente con la ecuación de Richards para la modelación del flujo del agua en el suelo.

Referencias

- AKANBI, A. y KATOPODES, N. Model for flow propagation on initially dry land. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114, No. 7, 1988.
- BROOKS, R. H., y Corey, A. T. Hydraulic properties of porous media. *Hydrol. Pap.* 3, Colorado State Univ., Fort Collins, 1964.
- BURDINE, N. T. Relative permeability calculation from size distributions data. *Transactions AIME*, 198:171-199, 1953.
- FUENTES, C., *Approche fractale des transferts hydriques dans les sols non saturés*. Tesis de Doctorado de la Universidad Joseph Fourier. Grenoble: Francia, 1992, 267 pp.
- FUENTES, C., HAVERKAMP, R. y PARLANGE, J. Y. 1992. Parameter constraints on closed-form soil-water relationships. *Journal of Hydrology*, 134:117-142, 1992.
- FUENTES, C., DE LEÓN, B, SAUCEDO, H. PARLANGE, J. Y. y ANTONINO, A. *El sistema de ecuaciones de Saint-Venant y Richards*

del riego por gravedad: 1. La ley potencial de resistencia hidráulica. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XVIII, núm. 2, 2004, pp. 121-131.

FUJITA, H. The exact pattern of a concentration-dependent diffusion in a semi-infinite medium, Part I. *Textile Research Journal*, 22:757-761, 1952.

GREEN, W. H., y AMPT, G. A. Studies in soil physics, I: the flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.*, 4:1-24, 1911.

KATOPODES, N., y STRELKOFF, T. Hydrodynamics of border irrigation, complete model. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. IR3:309-324.13188, 1997.

LEWIS, M. R. y MILNE, W. E. Analysis of border irrigation. *Transactions of the ASAE*. 19:267-272, 1938.

PARLANGE, J. Y., LISLE, I., BRADDOCK, R. D. y SMITH, R. E. The three parameter infiltration equation. *Soil Sci.*, 133: 337-341, 1982.

PLAYÁN, E., WALKER, W. R. y MERKLEY, G.P. Two-dimensional simulation of basin irrigation. I. Theory. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 120, No.5, 1994.

RAWLS, W.J. y BRAKENSIEK, D. L. Estimating soil water retention from soil properties. *Amer. Soc. Civ. Eng.*, 108(IR2):167-171, 1981.

RENDÓN, L., FUENTES, C. y MAGAÑA, G. Diseño del riego por gravedad. En *Manual para diseño de zonas de riego pequeñas*.

Jiutepec. Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1997, pp. I-75 a I-87.

RICHARDS, L. A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1:318-333, 1931.

SAUCEDO, H., FUENTES, C., ZAVALA, M. y VAUCLIN, M. Una solución de elemento finito para la transferencia de agua en un sistema de drenaje agrícola subterráneo. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XVII, núm. 1, 2002, pp. 93-105.

SAUCEDO, H., ZAVALA, M y FUENTES, C. Modelo hidrodinámico completo para riego por melgas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. II, núm. 2, abril-junio, 2011, pp. 23-38.

STRELKOFF, T. y KATOPODES, N. Border-irrigation hydraulics with zero inertia. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. IR3:325-342. 13189, 1977.

STRELKOFF, T. BRDRFLW: A mathematical model of border irrigation. USDA-ARS, US. Phoenix: Water Conservation Laboratory, 1985.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 44: 892-898, 1980.

WOOLHISER, D. A. Simulation of unsteady overland flow. En *Unsteady flow in open channels*. Fort Collins, Colorado, USA: K. Mahmood y V. Yevjevich, Water Resources Publications, Vol. II, 1975, pp. 485-508.

LA AGRICULTURA URBANA, ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

A. de Los Santos, J. C. Herrera y A. Tinoco

Resumen

La agricultura urbana es una actividad consistente en obtener productos agrícolas en casas o departamentos de ciudades, aun y cuando no se tenga un área de suelo disponible. Se puede realizar en pequeñas áreas como patios, pasillos, azoteas, balcones o en cualquier otro lugar que cuente con suficiente iluminación natural directa en, al menos, de ocho a 12 horas diarias. Esta técnica permite producir de forma continua la ración diaria, semanal o mensual de hortalizas y plantas de olor y medicinales, o bien, producir uno o dos cultivos para venta en pequeña escala a vecinos.

En los últimos dos años, el IMTA ha realizado pruebas de adaptación y producción para 25 cultivos (hortalizas, hierbas de olor y medicinales) de uso común en los hogares, mediante diferentes modelos físicos: estructuras metálicas con macetas en varios niveles, tubos verticales de PVC con diferentes sustratos y tubos horizontales de PVC con hidroponía. Además, se han diseñado experimentos a cielo abierto y bajo cubierta traslúcida para diferentes cultivos, en los cuales se han obtenido resultados de rendimientos en kg por unidad, en raciones por familia, relaciones de peso y área por unidad de producción, así como volúmenes de agua consumida.

Introducción

El cultivo en huertos caseros es cada día menos común en México debido, principalmente, a las dimensiones cada vez más pequeñas de las viviendas, a la nula disponibilidad de suelo natural para instalar un huerto familiar y al cambio en la cultura y costumbres de la población, ya que en la familia actual trabajan el padre y la madre, por lo que no hay quien promueva o inculque esta actividad y, por lo general, se considera que esta actividad no representa un aporte importante al abasto familiar.

Las viviendas de la ciudad que cuentan con superficie disponible para área verde, tienen generalmente un huerto familiar de árboles frutales, siendo poco común la siembra de hortalizas, hierbas de olor o algún otro cultivo que no sea perenne. En las ciudades pequeñas, donde el costo del terreno no ha llegado a ser determinante para el tamaño de los solares de las casas, también se ha reducido drásticamente la agricultura de traspatio.

Es muy factible la implementación de pequeñas unidades de producción agrícola en los hogares de pequeñas o grandes ciudades, ya sea que estén orientadas al autoconsumo o a la producción para venta en pequeña escala.

El IMTA, con la finalidad de buscar alternativas para la práctica de la agricultura urbana en ciudades medias y grandes, ha desarrollado modelos físicos para ésta tomando en consideración de lo siguiente: no se cuenta con un área de suelo natural, por lo tanto, se utilizan macetas, cajas de plástico de diferentes medidas, así como guacales de madera o plástico habilitados como contenedores con una bolsa de hule; el espacio y la luz son limitados; las áreas disponibles corresponden a pasillos, balcones, terrazas o azoteas con una superficie máxima de 10 m², que tienen luz directa de sol o a través de lámina traslúcida; no se puede disponer de una mayor dotación de agua para el riego, ya que utiliza el agua de reúso de la regadera y del enjuague de la lavadora de una familia chica (cuatro personas); además, se deben considerar macetas y sustratos ligeros para no incrementar demasiado el peso en la vivienda.

Material y métodos

Los materiales utilizados fueron: sustrato, macetas, contenedores, estructuras metálicas, tubo de PVC, modelos

físicos de agricultura urbana y agroquímicos.

Sustrato

El medio de crecimiento que se utilizó en los modelos de agricultura urbana fue una combinación de sustratos, compuesta de tierra de hoja, tierra de monte y tezontle, en proporción 40-40-20%. Se hizo esta mezcla tomando en cuenta la retención de humedad y el espacio poroso, ambas características necesarias en el crecimiento de las plantas. Estos sustratos fueron mezclados y desinfectados. No se integró ningún fertilizante ni corrector de pH (cal) al sustrato antes de la siembra o plantación.

Macetas y contenedores

Se utilizaron macetas y cajas de plástico de varias medidas, así como contenedores, los cuales se elaboraron a partir de huacales de madera o plástico, a los que se colocó una cubierta plástica para evitar que el sustrato se derrame. En la cubierta plástica se hicieron perforaciones para drenar el exceso de agua. La tabla 1 presenta las características físicas de las macetas y contenedores.

Tabla 1. Características físicas de macetas y contenedores.

Tipo	Medidas (cm)	Área sembrada (m ²)	Vol. de suelo (lt)	Peso total (kg)
Maceta de 15 cm	18x15	0.0254	1.650	1.785
Maceta de 20 cm	20x16	0.0314	2.700	2.950
Maceta de 25 cm	25x22	0.0490	6.325	6.940
Maceta de 30 cm	30x29	0.0706	12.550	15.420
Vote de plástico	23x23x36	0.0529	13.225	15.300
Caja plástico ch.	52x35x30	0.1820	41.860	44.880
Caja plástico m.	69x39x21	0.2691	40.365	42.720
Caja plástico g.	69x39x31	0.2691	67.275	88.620
Guacal de madera	49x30x29	0.1470	33.810	36.530
Guacal plástico ch.	48x28x26	0.1344	28.224	31.300
Guacal plástico g.	57x37x20	0.2109	32.690	34.640

Modelos físicos de agricultura urbana

Con la finalidad de aprovechar el espacio disponible, se han diseñado varios modelos físicos de agricultura urbana, en los que se pueden tener cultivos en varios niveles.

Los primeros modelos son de estructura metálica con tres niveles de siembra;

duplican o triplican el área disponible: El Árbol de Macetas, con capacidad para 46 macetas de varios tamaños. La Cajonera, con capacidad para tres cajas de madera (huacales) o de plástico y La Estructura Rectangular, con capacidad para 27 macetas de un mismo tamaño (ilustración 1).



Ilustración 1. Modelos de Estructuras Metálicas.

Asimismo, el modelo de Agricultura Vertical en PVC consiste en tubos de PVC sanitario, con altura de 1.6 m, diámetro de 20 cm, con siete niveles de siembra y

capacidad para hasta 26 plantas. Para aligerar el peso de este modelo, se adicionó paja de coco a la combinación se sustratos (ilustración 2).



Ilustración 2. Modelo de Agricultura Vertical.

El modelo de Hidroponía en PVC es una estructura metálica que sostiene una estructura de tubos de PVC de 5 cm en dos niveles, en la cual hay una recirculación de solución nutritiva (ilustración 3).



Ilustración 3. Modelo de Hidroponía en PVC.

Manejo de los cultivos

Se han realizado pruebas de adaptación a condiciones de agricultura urbana con 25 cultivos: 16 hortalizas y nueve hierbas aromáticas.

- **Siembra o trasplante.** Los cultivos se establecieron por siembra directa y por trasplante. Las semillas: acelga, albahaca, apio, cilantro y lechuga se adquirieron en casas de agroquímicos. Las plántulas de chile, jitomate y pepino se obtuvieron en viveros dedicados a la producción de plántulas y, otros cultivos, como: yerbabuena, menta,

orégano, té de limón, hinojo y árnica se adquirieron también en viveros. El epazote y la verdolaga, que se desarrollaron en forma silvestre, se colectaron y se trasplantaron. En este trabajo se presentan resultados de 16 de estos cultivos.

- **Riego.** En promedio, se aplicó una lámina de riego de 1.2 cm cada tercer día, manteniendo la humedad del sustrato muy cerca de capacidad de campo para evitar el estrés hídrico. En hidroponía, la recirculación es diaria y en periodos durante el día.

- **Fertilización.** Se realizó junto con el riego, aplicando la solución fertilizadora de un paquete tecnológico para hidroponía desarrollado en la Universi-

dad Autónoma Chapingo (Sánchez et al., 2006). La tabla 2 presenta las cantidades de los fertilizantes para preparar una solución de 1,000 litros.

Tabla 2. Fertilizantes usados para solución de 1,000 litros.

Producto	Cantidad (g)	Solubilidad en agua (kg/l)
Nitrato de calcio	970.00	1:1
Ácido fosfórico	131.00	1:1
Sulfato de potasio	166.70	1:15
Sulfato de magnesio	600.00	1:3
Sulfato ferroso	15.00	1:5
Sulfato de manganeso	4.00	1:3
Bórax	4.50	1:27
Sulfato de zinc	0.44	1:3
Sulfato de cobre	0.40	1:5

- **Plagas y enfermedades.** Al tener diversos cultivos en un espacio reducido, se presentaron diversas plagas y enfermedades que en algunos casos atacaron a todos cultivos (hormiga arriera). Las plagas con mayor incidencia fueron: pulgón, araña roja, mosca blanca, hormiga roja y gusanos. Las enfermedades más frecuentes fueron: cenicilla y *Alternaria*; la primera atacó en casi todos los cultivos.

Para controlar las plagas y enfermedades, se usaron productos económicos de baja toxicidad que se pudieran conseguir fácilmente en el mercado local. Para las plagas se utilizaron: agua jabonosa (mosca blanca), buprofezin (mosquita blanca), azufre agrícola (araña roja), sulfluramida (hormiga), flonicamid (pulgón) y permetrina (gusanos). Para las enfermedades, se utilizó carbendazim para cenicilla y captan para *Alternaria*.

Resultados

Se han realizado pruebas de adaptación al sistema de producción de agricultura urbana con 25 cultivos, de los cuales veinte especies y variedades se adaptan bien.

Se elaboró un instructivo para el manejo de diez cultivos bajo el sistema de producción de agricultura urbana y un video para su promoción.

Se obtuvieron los rendimientos de cada hortaliza utilizando dos parámetros distintos: uno se hizo tomando en cuenta los gramos cosechados por especie por unidad de área de producción (kg/m²) (ilustración 4), que se muestra en la tabla 3, y otro basado en raciones (ilustración 5), donde se considera la frecuencia de consumo, contemplando una ración suficiente para una familia de cuatro personas (tabla 4).

Ilustración 4. Obtención de los rendimientos de los cultivos.



Tabla 3. Rendimiento de los cultivos en kg/m².

No	Especie	Producción (g)	Área en prod. (m ²)	No. de Cortes	Rend. kg/m ² (total)
1	Acelga	1251	0.29	5	4.19
2	Albahaca	395	0.17	6	2.32
3	Apio	750	0.13	3	5.77
4	Chile	590	0.24	13	2.46
5	Cilantro	515	0.41	12	1.26
6	Epazote	360	0.16	8	2.25
7	Hinojo	75	0.18	2	0.42
8	Lechugas	848	0.85	11	1.00
9	Menta	65	0.02	3	3.25
10	Orégano	225	0.16	6	1.41
11	Pepino	2745	0.34	12	8.07
12	Té limón	830	0.16	15	5.18
13	Tomillo	297	0.06	4	4.95
14	Verdolaga	838	0.32	6	2.62
15	Hierbabuena	720	0.38	15	1.89
16	Árnica	75	0.15	3	0.50

Ilustración 5. Ejemplo de las raciones de los cultivos.



Tabla 4. Rendimiento de acuerdo con la frecuencia de consumo.

No	Especie	Área en prod. (m ²)	Frecuencia de consumo (días)	No. de raciones obtenidas en dos meses
1	Acelga	0.15	15	4
2	Albahaca	0.11	7	6
3	Apio	0.15	20	3
4	Chile	0.30	4	13
5	Cilantro	0.29	5	12
6	Epazote	0.08	7	8
7	Hinojo	0.15	30	2
8	Lechugas	0.40	5	11
9	Menta	0.07	15	3
10	Orégano	0.08	7	6
11	Pepino	0.03	5	12
12	Té limón	0.15	4	15
13	Tomillo	0.06	15	4
14	Verdolaga	0.32	10	6
15	Hierbabuena	0.15	4	15
16	Árnica	0.15	Variable	3
	TOTAL	2,641		121

El modelo Árbol de Macetas rindió 24 kg de varios cultivos en cuatro meses. El modelo Estructura Rectangular rindió 18.1 kg. De varios cultivos en cuatro meses, el modelo Hidroponia en PVC dio una producción de 10.9 kg de lechuga en cincuenta días. El modelo Agricultura Vertical en PVC produjo 13.5 kg de pepino en tres meses.

Con la finalidad de controlar el peso máximo de los elementos de una unidad de producción, con la información de la tabla 1 se elaboró la tabla 5. Se calculó el peso de macetas y contenedores por unidad de área, tomando en cuenta del 60 al 100% del espacio útil (tabla 5).

Tabla 5. Pesos en kg/m² de las macetas, cajas y contenedores.

Tipo	Kg/m ² de superficie utilizada (100%)	kg/m ² de superficie utilizada (60%)
Maceta de 7 pulgadas	70.28	42.17
Maceta de 8 pulgadas	93.95	56.37
Maceta de 10 pulgadas	141.63	84.98
Maceta de 12 pulgadas	218.41	131.05
Vote de plástico	289.22	173.53
Caja plástico mediana	246.59	147.96
Caja plástico alargada	158.75	95.25
Caja plástico grande	329.32	197.59
Guacal de madera	248.50	149.10
Guacal de plástico chico	232.89	139.73
Guacal de madera grande	164.25	98.55

La información de este cuadro es de utilidad para calcular el peso total de las macetas con que se cuente, el que deberá ser menor de 1,000 kg por casa o departamento. Además de que este peso adicional deberá estar debidamente apoyado en columnas y trabes.

Conclusiones

Las macetas y contenedores pueden reemplazar el suelo natural para la producción, sólo en pequeña escala.

Con los modelos de agricultura urbana es posible instalar un sistema de producción

familiar en espacios muy reducidos (de 0.50 a 0.75 m²).

Con planeación adecuada de un módulo de agricultura urbana, orientado a las preferencias de consumo familiar, de hortalizas de fruto y de hoja, así como hierbas aromáticas y medicinales, es posible cubrir los requerimientos de alrededor de 16 especies o, también, se puede tener una producción de uno o dos cultivos en cantidades suficientes para venta en el vecindario en forma permanente.

Los cultivos cosechados mediante un módulo de agricultura urbana dispusieron de

mejores condiciones de higiene, frescura y calidad, que los cultivos en condiciones normales de producción.

El riesgo de la presencia de plagas o enfermedades es una constante. La falta de experiencia para su detección y control oportuno pueden representar fuertes fallas en el huerto familiar.

Bibliografía

SÁNCHEZ, F., CONTRERAS, M., MORENO, P. *Cálculo de soluciones nutritivas*. Universidad Autónoma Chapingo, 2006.

HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS LOCALIDADES

J. G. García, I. Y. López y C. E. González

Resumen

Si bien la tecnología de los humedales artificiales no es nueva en el mundo, en México se encuentran aplicaciones incipientes, y puede decirse que por su versatilidad de aplicación constituyen una alternativa importante para el saneamiento de las aguas residuales, ya que por su relativa facilidad de instalación, operación y mantenimiento presentan grandes ventajas debido a que pueden instalarse desde el nivel casero hasta en grandes localidades. El propósito de este trabajo es fomentar la aplicación de esta tecnología, no sólo en comunidades rurales, sino en otros ámbitos. Asimismo, a pesar de que en los últimos años los humedales artificiales han tenido una gran demanda, actualmente no existe una metodología universal para el diseño de estos sistemas y una de sus desventajas es que requieren una gran superficie de terreno.

Introducción

El considerable crecimiento de la población mexicana en los últimos años también ha incrementado de manera importante la demanda de agua y, en consecuencia, la

generación de aguas residuales. Estas últimas, al verterse sin un tratamiento previo a los cuerpos receptores, contaminan el suelo y las aguas superficiales o subterráneas, creando un riesgo para la salud (enfermedades de origen hídrico) y el medio ambiente.

La tecnología ha avanzado rápidamente y se han desarrollado modernos procesos de tratamiento para revertir dicha problemática. Sin embargo, estas tecnologías, además de aumentar los costos de instalación, operación y mantenimiento que muchas veces son difíciles de cubrir en el contexto nacional, requieren de personal altamente calificado. Aplicar estas tecnologías en zonas urbanas con poca capacidad financiera, y sobre todo en comunidades rurales, sería prácticamente imposible debido a que no se cuenta ni con las condiciones económicas necesarias ni con el personal calificado requerido para llevar a cabo su operación y mantenimiento.

No obstante, existen tecnologías alternativas y apropiadas para el tratamiento de aguas residuales en estas zonas. Una de estas alternativas son los humedales artificiales, los cuales, basados en una simbiosis biológica entre ciertas especies

de plantas acuáticas, microorganismos y substrato (suelo o medio filtrante), así como sus interacciones con la atmósfera, proporcionan un tratamiento efectivo al agua residual. Estos sistemas se han utilizado ampliamente en otros países, ya que presentan grandes ventajas comparados con plantas de tratamiento que utilizan procesos convencionales. Sus principales aplicaciones van desde localidades rurales o urbanas hasta escuelas, hoteles, casa-habitación, etcétera.

Según el Programa Nacional Hídrico 2007-2012 (Conagua, 2008), uno de los principales retos a superar asociados a su Objetivo 2 “Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, era implantar tecnologías adecuadas al entorno local en el suministro de los servicios de agua potable y saneamiento, principalmente en el ámbito rural. Ante este hecho, las comunidades rurales (menores a 2,500 habitantes) y zonas urbanas pequeñas son las que más carecen de un sistema de saneamiento y, si se suma a esto que existe una dependencia tecnológica, falta de personal altamente capacitado, altos consumos de productos químicos y energía para operar y mantener los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas convencionales, la transferencia de algún tipo de sistema de tratamiento a estas zonas se dificulta.

Debido a sus características, los humedales artificiales implican costos iniciales competitivos de instalación y bajos costos de operación y mantenimiento, ya que no requieren bombeos, aplicación de químicos o utilización de equipo sofisticado. De igual manera, requieren poco personal y no especializado para su operación y mantenimiento.

Resultados

Con la finalidad de contribuir a la reducción del vertido de aguas residuales sin un tratamiento previo al lago de Pátzcuaro, hasta la fecha se han instalado cinco sistemas de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales en diferentes localidades aledañas al lago (ilustración 1): uno en Cucuchucho (ilustración 2), uno en Santa Fe de la Laguna (ilustración 3), uno en Erongarícuaro (ilustración 4) y dos en San Jerónimo Purenchécuaro (ilustración 5). Estos sistemas de tratamiento están formados por: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario. A excepción de los dos humedales artificiales de la localidad de San Jerónimo Purenchécuaro, todos los demás cuentan con un humedal de tratamiento, una laguna de maduración y un humedal de pulimento. La tabla 1 muestra las principales características de diseño de cada uno de estos humedales artificiales.



Ilustración 1. Localización de los humedales artificiales en la cuenca del lago de Pátzcuaro.



Ilustración 2. Humedal artificial de Cucuchucho.



Ilustración 3. Humedal artificial de Santa Fe de la Laguna.



Ilustración 4. Humedal artificial de Erongarícuaro.



Ilustración 5. Humedal artificial de San Jerónimo Purenchécuaro 1.

Tabla 1. Principales características de diseño de los humedales instalados en la cuenca del lago de Pátzcuaro (adaptado de González y Rivas, 2008).

Criterio de diseño	Cucuchucho, Tzintzuntzan	Santa Fe de la Laguna, Quiroga	Erongarícuaro, Erongarícuaro	San Jerónimo Purenchécuaro, Quiroga
Caudal, l/s	0.5	3.0	3.33	0.8
Población, hab	600	2,700	2,953	600
DBO ₅ total de entrada, mg/l	468	414	231	232.7
NT, mg/l	47	71	60	21.1
PT, mg/l	11	13	13	11.4
CF, NMP/100 ml	1.7 E06	6.8 E07	3.41 E08	2.1 E07
Área de tratamiento**, ha	0.31	1.06	1.15	0.30

** Se considera únicamente el área superficial que ocupan tanto los humedales artificiales como las lagunas de maduración, si es el caso.

En seguida se presentan los resultados de los valores promedio de los diferentes contaminantes analizados: DBO₅ total, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales. Estos parámetros fueron considerados, ya que son utilizados para el diseño y determinación de las constantes cinéticas, y además se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana.

Las eficiencias de remoción de DBO₅ total y SST están entre 80-89% y 78-98%, respectivamente. En lo que respecta a la eliminación de NT, oscilan entre 22-49%. Para el PT están entre 11.9-31.1%. Finalmente, los resultados obtenidos en la remoción de coliformes fecales son del orden de 99% (García, 2012).

Conclusiones y recomendaciones

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal son una opción viable para el tratamiento de las aguas residua-

les domésticas de pequeñas localidades, especialmente si se requiere reducir el contenido de materia orgánica y de SST. Se utilizó la DBO₅ para la estimación de la materia orgánica presente en el agua residual cruda y tratada que es susceptible a descomponerse por medios biológicos, es decir, que es biodegradable.

La remoción de nitrógeno está en función de la presencia y ausencia de oxígeno en el lecho filtrante (nitrificación-desnitrificación), pero a pesar de que se pueden dar ambas condiciones al mismo tiempo, una prevalecerá sobre la otra, por lo que la capacidad de eliminar el nitrógeno se ve afectada, ya que el proceso de nitrificación tiene lugar en dos etapas en las que el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitrito y, posteriormente, a nitrato, y que en el proceso de desnitrificación el nitrato es reducido a compuestos nitrogenados gaseosos. Además, se encuentran presentes los procesos de hidrólisis del nitrógeno orgánico y los procesos de

asimilación, crecimiento y lisis bacteriana, a partir de nitrógeno inorgánico en forma amoniacal (Claros, 2012).

En cuanto a la reducción de fósforo, está limitada por la baja capacidad de absorción de los materiales de filtración, asimilación de las plantas y liberación por parte del propio sistema. También, se pudo observar que la eficiencia de remoción de CF es de 3 y hasta 5 unidades log de magnitud.

Es importante señalar que los humedales artificiales de flujo subsuperficial son muy susceptibles a la colmatación del medio granular, por lo que es de suma importancia seguir mejorando su diseño basado en las experiencias obtenidas, a fin de reducir la superficie utilizada y el tiempo de colmatación sin disminuir las eficiencias de tratamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte, a través de su Programa Agua, por el financiamiento del proyecto que dio lugar a esta publicación. También, se agradece a las comunidades de Cucuchucho, Santa Fe de la Laguna, Erongarícuaro y San Jerónimo Purenchécuaro, así como a los municipios correspondientes por las facilidades prestadas; en especial a los operadores de los humedales artificiales.

Bibliografía

CLAROS, J. A. *Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de*

agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal. Tesis doctoral. Valencia, España: Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 2012, 230 pp.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*. [en línea]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: febrero de 2008. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH_05-08.pdf>.

GARCÍA, J. G. *Evaluación integral (eficiencia, capacitación, seguimiento y apropiamiento) de humedales*. Informe final. Jiutepec, Mor. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Hidráulica, Subcoordinación de Tecnología Apropiada e Industrial, 2012, 259 pp.

GONZÁLEZ, C. E., RIVAS, H. A. Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales generadas en áreas rurales ribereñas al lago de Pátzcuaro. [en línea]. *Revista Tlaloc*, número 41, marzo-abril, 2008. Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2013]. Disponible en <http://www.revistatlaloc.org.mx/antecedentes/archivos_pdf/TLALOC_41.pdf>.

Resumen curricular

Juan Gabriel García Maldonado. Licenciatura en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Celaya (1997) y doctorado en Ingeniería de Procesos y del Medioambiente (Mención Honorífica) por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia (2005).

Especialista en hidráulica en la Subcoordinación de Hidráulica Ambiental.

Indira Yarely López Cortés. Licenciatura en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma de Nayarit (2009) y maestría en Ciencias del Agua por la Universidad de Guanajuato (2013).

Carlos Erasto González Aguirre. Licenciatura en Ingeniería Civil por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (2004). Encargado del Departamento de Estudios y Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas del estado de Michoacán.

MANEJO INTEGRAL DEL AGUA PLUVIAL Y GENERACIÓN DE MAPAS DE PELIGRO EN LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO

J. M. Rodríguez,¹ P. M. Albornoz,¹ J. Maldonado,¹ V. H. Alcocer,¹
J. A. Alonso,² H. Vidal,² J. R. Quiñones² y M. A. Jiménez²

(¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,

²Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo)

Resumen

A continuación se presentan los principales resultados del proyecto *Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*. Para lograr sus resultados, se generó una metodología novedosa integrada por: identificación de la problemática, análisis hidrológico e hidrográfico, herramientas de cálculo para la generación del modelo de simulación y generación de escenarios para la mitigación de los problemas de inundación. Esta metodología permite obtener mapas de peligro a nivel ciudad y generar soluciones integrales que permitan mitigar los problemas de inundación, considerando acciones estructurales y no estructurales. Para esto, se construyó un modelo de simulación de colectores en una dimensión (1D), ligado a un modelo de simulación de escurrimiento en calles, en dos dimensiones (2D).

Palabras clave: alcantarillado pluvial, modelo de simulación, mapas de peli-

gro, acciones estructurales y no estructurales.

Introducción

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua), Chetumal resultó ser la zona más lluviosa del país en 2012 (Hernández, 2012), y precisó: "... la ciudad de Chetumal, capital de Quintana Roo, se ubica como el sitio de mayor precipitación pluvial del año 2012, al registrar tan sólo en el mes de agosto 515.9 milímetros de lluvia, un 260 por ciento más del promedio histórico que ha sido de 143.5 milímetros durante el mes..."; y agregó: "En este mes, el sur del estado y entre ellos, la ciudad de Chetumal fue impactado por el **Huracán Ernesto y la Onda Tropical Número 11**, ambos sistemas dejaron una gran cantidad de lluvia."

Estos fenómenos naturales originan precipitaciones severas, y aunado a sus características topográficas, la ciudad se ve afectada por inundaciones en diversas

zonas. La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Quintana Roo (CAPA) ha identificado 124 puntos críticos de inundación o encharcamiento. Debido a lo anterior, la CAPA planteó al IMTA la necesidad de desarrollar el estudio: *Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo* (Rodríguez et al., 2012).

Resultados

Para alcanzar los resultados planteados en el estudio, el IMTA propuso una metodología (ilustración 1) consistente en cuatro pasos: identificación de la problemática, análisis hidrológico e hidrográfico, generación del modelo de simulación y generación de escenarios para la mitigar los riesgos de inundación.



Ilustración 1. Componentes de un programa para el manejo integral de las aguas pluviales (Alcocer et al. 2012).

Identificación de la problemática

Dentro del estudio, se realizó un diagnóstico de los colectores pluviales y se identificaron diversas problemáticas que afectan el desalojo de las aguas pluviales, como son:

Hundimientos del terreno natural. En la zona baja (centro) de la ciudad de Chetumal ocurren con más frecuencia los hun-

dimientos. Los suelos existentes en esta parte son de tipo caliza fosilífera fracturada, superficialmente intemperizada y con pequeñas carsticidades en forma de vesículas u oquedades de dimensiones variables (Cinvestav, 2009). Debido a lo anterior, las redes de alcantarillado, agua potable y colectores pluviales sufren daños estructurales, lo que genera problemas en su funcionamiento.

Presencia de basura en las calles. Otro problema es la presencia de basura en las calles, que contribuye al taponamiento en las bocas de tormenta, por lo que la eficiencia de captación de estas estructuras puede caer a cero. Asimismo, genera obstrucciones dentro de los emisores pluviales con la consecuente disminución de su capacidad hidráulica, lo que impacta en las inundaciones dentro de la ciudad.

Nivel topográfico. La topografía de la ciudad de Chetumal es plana. Va de la cota 12 msnm a la cota 0 msnm. En algunas zonas de la ciudad se tienen niveles topográficos de 2 msnm, terrenos con pendientes mínimas y sin descargas al mar o la sabana, lo que genera acumulación de agua por efecto del escurrimiento del agua de lluvia.

Lluvias torrenciales. La ciudad se ubica en una región propensa a la entrada de huracanes y tormentas tropicales, mismas que generan lluvias con fuertes precipitaciones. En el mes de agosto del 2012 se registró una lluvia con precipitación acumulada de 210 mm que generó inundaciones y encharcamientos.

Metodología para la generación de soluciones estructurales y generación de mapas de peligro

Construcción del modelo digital de elevaciones (MDE). Este modelo, desarrollado en ArcMap, se hizo a partir de las curvas topográficas proporcionadas por el Plan de Desarrollo Urbano del municipio. Así, fue posible identificar las cuencas hidrográficas de la zona en estudio y las líneas de corriente de escurrimiento en calles.

Identificación de microcuencas y usos de suelo. Derivado del MDE, se calcularon 676 microcuencas. Los usos de suelo se obtuvieron a partir de la información de planimetría y a, partir de ellos, se tuvieron los coeficientes de escurrimiento por cuenca y microcuenca. Estos se utilizan para calcular el gasto máximo de escurrimiento a cada colector pluvial.

Estudio hidrológico. Curvas precipitación-duración-periodo de retorno (P-D-Tr) y estimación del hietograma tipo. Derivado del análisis hidrológico, se obtuvieron las curvas precipitación (mm)-duración (min)-periodo de retorno, mismas que se utilizan para la estimación de caudales generados con diferente duración y periodo de retorno

Simulación de lluvias precipitadas en Chetumal. Además de las Lluvias obtenidas a partir del análisis estadístico, se simularon lluvias reales precipitadas en la ciudad de Chetumal para ajustar el modelo de simulación, e indicar los problemas generados por dicha lluvia una vez realizada la simulación.

Modelo de simulación en SWMM. El modelo de simulación hidráulica de los colectores pluviales (1D) se construyó con el software desarrollado por la EPA, de los Estados Unidos de América, y que es de distribución gratuita denominado SWMM (*Storm Water Management Model*). Para la construcción de dicho modelo se realizó una actualización de la información de los colectores pluviales, recorridos de campo e integración de información proveniente de otras dependencias de gobierno.

Generación de mapas de peligro y acciones estructurales. Con base en el MDE, el análisis hidrológico e hidrográfico y el modelo de colectores pluviales, se construyó el modelo de simulación en 2D ligado al modelo de simulación 1D, con el que se generaron los mapas de peligro para diferentes periodos de retorno (Salas, 2011). Con base en los modelos de simulación 1D y 2D se propusieron diversas infraestructuras pluviales para mitigar los problemas de inundación y reducir su peligro.

Conclusiones y recomendaciones

Con la metodología propuesta, se generaron simulaciones que consideran la interacción de los colectores pluviales (simulación 1D) con el escurrimiento en calles (simulación 2D), y se generaron mapas de peligro para diferentes periodos de retorno. Con base en lo anterior, se obtuvo una propuesta integral para el control de las inundaciones en la ciudad.

El modelo creado sirvió para generar acciones estructurales, en las cuales se propone: la rehabilitación del dren Soriana y el revestimiento del canal Machuxac para mejorar su capacidad de descarga; el redimensionamiento de las bocas de tormenta ubicadas al inicio del dren Soriana, y la construcción de tres colectores: uno que desciende por la calle Morelos hasta su desembocadura al mar, con capacidad para desalojar 21 m³/s; el colector Zoológico-Av. Tela-Av. Altamirano- Av. Francisco Zarco, con capacidad para desalojar 38 m³/s, y el colector Comonfort, con capacidad para desalojar 15 metros cúbicos por segundo.

Referencias

HERNÁNDEZ, S. *Chetumal, la región más lluviosa durante 2012*, Conagua, recuperado el 20 de noviembre del 2012. Disponible en <http://www.eluniversal.com.mx/notas/886281.html>

RODRÍGUEZ, J. M., MALDONADO, J., ALBORNOZ, P. M., ALCO CER, V. H., ALONSO, J. A., VIDAL, H., QUIÑONES, J. R., JIMÉNEZ, M. A. y ARCEO, R. *Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*, clave interna IMTA, HC1235.3. Subcoordinación de Hidráulica Urbana, 2012.

ALCO CER, V. H., RODRÍGUEZ, J. M. ALBORNOZ, P. M., MALDONADO, J., ALONSO, J. A., VIDAL, H., QUIÑONES, J. R. Manejo de aguas pluviales de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. *Revista Agua en Quintana Roo*. Año 2, No. 4, julio-septiembre 2012.

CINVESTAV, IPN. Seminario de Análisis de la Vulnerabilidad y Riesgos a la Contaminación de las Aguas Subterráneas en la Península de Yucatán, Mérida, Yucatán, diciembre 2009.

Salas, M. A. *Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas*. (Serie: Atlas Nacional de Riesgos, Fenómenos Hidrometeorológicos). México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Sistema Nacional de Protección Civil, Dirección de Investigación, 2011.

Resumen curricular

José Manuel Rodríguez Varela. Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Coahuila (1989) y maestro en Ingeniería

ría Hidráulica (1995) por la DEPMI-UNAM (campus Morelos). Especialista en hidráulica de la Subcoordinación de Hidráulica Urbana del IMTA. Principales líneas de trabajo: diseño, gestión y modelación hidráulica de redes de agua potable y alcantarillado, y sectorización y actualización de catastro de redes.

Pedro Misael Albornoz Góngora. Ingeniero Físico por la Universidad Autónoma de Yucatán (2008) y maestro en Ingeniería Hidráulica (2011) (Mención Honorífica) por la DEPMI-UNAM (campus Morelos). Especialista en hidráulica en la Subcoordinación de Hidráulica Urbana del IMTA. Principales líneas de trabajo: simulación de redes de agua potable y alcantarillado y diagnósticos integrales de planeación de organismo operadores. Ha participado como jefe en seis proyectos.

Juan Maldonado Silvestre. Ingeniero Civil por el Instituto Politécnico Nacional (1985) y maestro en Ingeniería Hidráulica (2012) por la DEPMI-UNAM (campus Morelos). Especialista en hidráulica de la Subcoordinación de Hidráulica Urbana del IMTA. Principales líneas de trabajo: estudios de evaluación de pérdidas para los sistemas de agua potable, diseño y gestión de sectorización de redes de agua potable y diagnósticos integrales de planeación de organismos operadores de agua potable.

Víctor Hugo Alcocer Yamanaka. Realizó estudios de maestría y doctorado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (campus Morelos), y en ambos recibió Mención Honorífica. Ha escrito más de ochenta publicaciones relacionadas con la Hidráulica. Es miembro del Sistema Nacional de In-

vestigadores, tutor activo de doctorado y maestría en el Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y ganador de los Premios Nacionales de Ingeniería Civil Miguel A. Urquijo, en 2005, y José A. Cuevas, en 2009, otorgados por el Colegio de Ingenieros Civiles de México. Actualmente es Coordinador de Hidráulica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

José Alberto Alonso Obando. Contador Público por la Universidad Autónoma de Yucatán (1990). Principales contribuciones: coordinación de trabajos que dieron origen a las leyes de Mejora Regulatoria, de Planeación para el Desarrollo y de Desarrollo Social. Participó en la gestión de recursos para Quintana Roo ante el Congreso de la Unión los años 2006, 2007, 2008 y 2009. Es Director General de la Comisión de Agua Potable del Estado de Quintana Roo y Vicepresidente de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento.

Humberto Vidal Russi. Arquitecto por la Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Xochimilco (1982). Ha desempeñado importantes cargos en empresas privadas. Fue presidente del Colegio de Arquitectos de Quintana Roo (2003-2005), docente en el Instituto Tecnológico de Chetumal y ha desempeñado importantes cargos en la administración pública de Quintana Roo. Actualmente, es Coordinador de Planeación de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado

Jaime Ricardo Quiñones Baas. Ingeniero Civil por el Instituto Tecnológico de Chetumal (1990). Diplomados en Administración de Proyectos de Inversión por el Ins-

tituto Estatal de la Administración Pública (2002) y en Gerencia de Proyectos por el Instituto Tecnológico de la Industria de la Construcción (2004). Ha desarrollado importantes proyectos hidráulicos como la sectorización de redes, cuyos resultados se vieron reflejados en los premios nacionales de eficiencia para los Organismos Operadores de Solidaridad y Cozumel (2004), otorgado por la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento. Actualmente desempeña el cargo de Director de Planeación de Infraestructura de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo.

Marco Antonio Jiménez García. Ingeniero en Sistemas de Energía por la Universidad de Quintana Roo. Especialista en: manejo y gestión de recursos hídricos, gestión pública, elaboración de estudios en materia de impacto ambiental y estudios técnicos justificativos para cambio de uso de suelo en terrenos forestales, planeación ambiental y manejo de recursos naturales, evaluación y descripción del ambiente natural, así como de modelos de desarrollo y gestión ambiental. Actualmente se desempeña en la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo como Director de Gestión Ambiental.

ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LLUVIA- ESCURRIMIENTO Y CAMPAÑA DE AFOROS EN LA CUENCA TRANSFRONTERIZA DEL RÍO HONDO

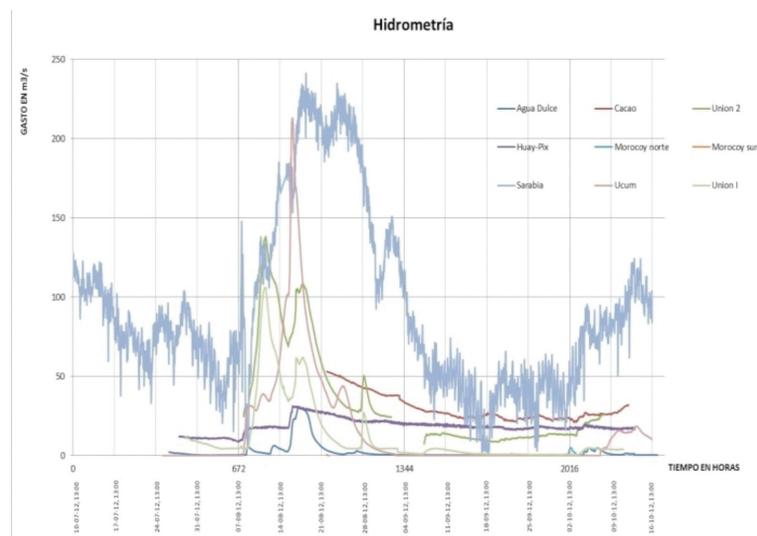
V. Arroyo, J. Acosta, A. Aguilar, M. Escalante, A. Laurel, V. Mejía, C. Millán,
R. Morales, G. Reza y G. Salgado

Resumen

Se realizó la instalación de 12 equipos de hidrometría y ocho de pluviometría para monitoreo continuo. El tiempo de monitoreo fue durante noventa días y en este periodo se registraron los efectos del huracán *Ernesto* (ilustración 1). El intervalo de muestreo de variables se estandarizó a 30 min y se realizaron mediciones de intercalibración de gasto y nivel con el equipo de referencia ADV (multifrecuencia,

ISO-748). Este proceso se hizo, al menos, una vez por semana para cada estación hidrométrica. La calibración del modelo lluvia-escorrentía se efectuó con *HEC-HMS*. También, se realizó una primera modelación hidrodinámica entre la bahía de Chetumal y el río Hondo. Los resultados de esta modelación indican que la marea no es un factor importante en la hidrodinámica de la bahía de Chetumal, ni tampoco sobre la desembocadura del río Hondo. Sin embargo, el evento de la entrada del

Ilustración 1. Hidrogramas de escurrimiento registrados en las estaciones hidrométricas durante el huracán Ernesto.



huracán *Ernesto* indica que los efectos de la marea de tormenta son de gran influencia sobre el sistema.

Introducción

El río Hondo constituye el límite fronterizo natural de Belice con México a lo largo de 160 km. Su cuenca la comparten Belice, México y Guatemala. Tiene un área drenada de aproximadamente 13,465 km², de los cuales 2,978 km² (22.1%) se internan en territorio de Belice, 7,614 km² (56.5%) dentro de México y 2,873 km² (21.3%) cubre el norte de El Petén, Guatemala. El río Hondo tiene su origen a una altura cercana a los 300 m en el norte de El Petén y el sureste de México. Las corrientes tributarias en Belice son el río Bravo, el río *Booths* y el *Blue Creek* (se aclara que las cifras anteriores son aproximadas y aquí se mencionan con un carácter solamente ilustrativo; dependiendo de la fuente consultada las cifras pueden variar).

El cauce principal del río Hondo comienza cerca de la confluencia del río *Booths* y el arroyo Azul, después de la cual atraviesa la planicie baja del norte de Belice hasta desembocar en la bahía de Chetumal. Desde la confluencia del arroyo Azul y río Bravo, en su recorrido hacia la bahía de Chetumal el río Hondo recibe las aportaciones de otros tributarios tanto del territorio mexicano como del beliceño. Del lado mexicano destaca: el arroyo Agua Dulce, el río Escondido y el arroyo *Huay Pix* (ilustración 2).

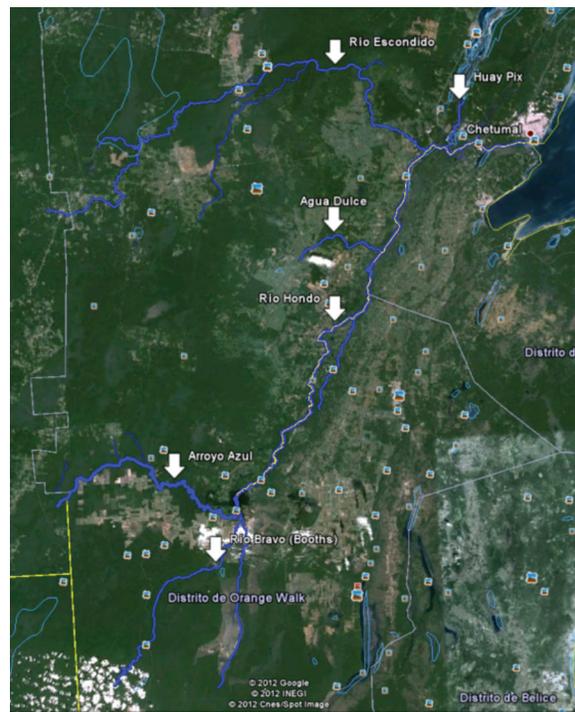


Ilustración 2. Río Hondo y sus tributarios más importantes: arroyo Agua Dulce, río Escondido y Huay Pix (Fuente de imagen de fondo: Google Earth.)

Para el monitoreo de las avenidas que se presentan en el río Hondo, la Conagua tiene tres estaciones hidroclimatológicas denominadas: La Unión I, sobre el cauce del arroyo Azul y aguas arriba del poblado de la Unión, Q. Roo; La Unión II, sobre el cauce del río Hondo, inmediatamente aguas abajo del poblado de la Unión, Q. Roo, y Juan Sarabia, localizada a la altura del poblado del mismo nombre, Q. Roo. Dada la necesidad de mejorar la información hidrológica que permita caracterizar el régimen de escurrimiento de la cuenca y establecer

resultados obtenidos para las corridas de diez y cincuenta años de periodo de retor-

no correspondientes a los sitios Ucum, La Unión II y Juan Sarabia (ilustración 5).

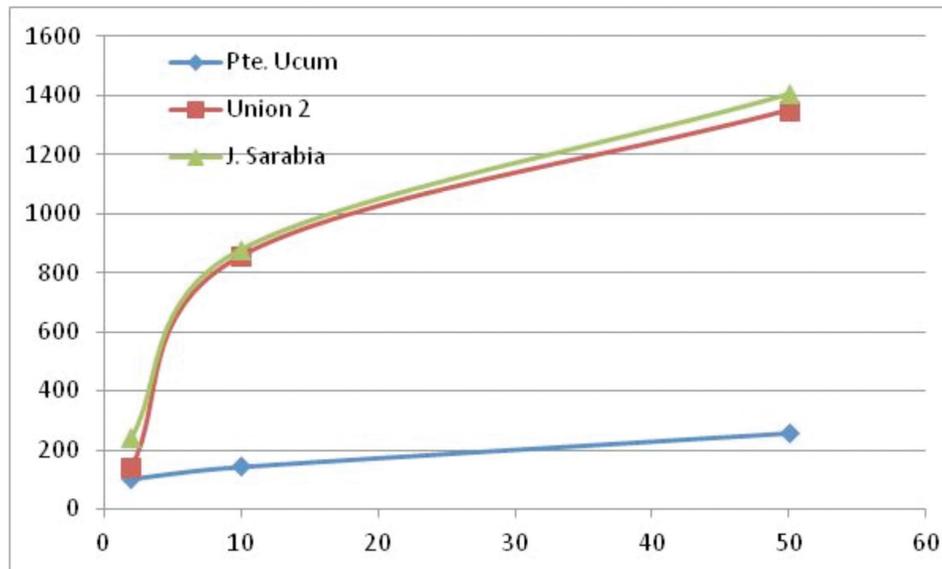


Ilustración 5. Resumen de gastos máximos (m³/s) obtenidos con el modelo numérico para diferentes Tr.

Conclusiones y recomendaciones

Se recomienda continuar con las campañas de medición y, aprovechando los resultados del modelo numérico, ubicar nuevos sitios estratégicos para las estaciones climatológicas e hidrométricas dentro de las cuencas de ambos ríos, así como combinar la aplicación de este modelo con otro que simule el perfil del flujo en tramos y sitios donde se requiera conocer las características del flujo, para el diseño de obras de control y protección.

De acuerdo con los resultados de la modelación hidrodinámica preliminar, aparentemente la marea no es un factor importante en la hidrodinámica de la bahía de Chetumal, ni tampoco sobre la des-

embocadura del río Hondo (ilustraciones 4a y 4b). El tiempo de simulación fue de 31 días. Para mejorar el análisis de la influencia de la marea y la descarga del río Hondo, es necesario determinar la topobatimetría de la bahía, especialmente en los bajos que se ubican enfrente de la ciudad de Belice y los que están en la zona de conexión de la bahía con el mar Caribe. El evento de la entrada del huracán indica que los efectos de la marea de tormenta son de gran influencia sobre el sistema. En el caso de tener un huracán de mayores magnitudes (escala S-S II en adelante), se puede esperar que la zona de inundación se magnifique, ya que la bahía presenta un bajo volumen de amortiguamiento ante el efecto de una marea de tormenta, por lo cual es recomendable ampliar el estudio.

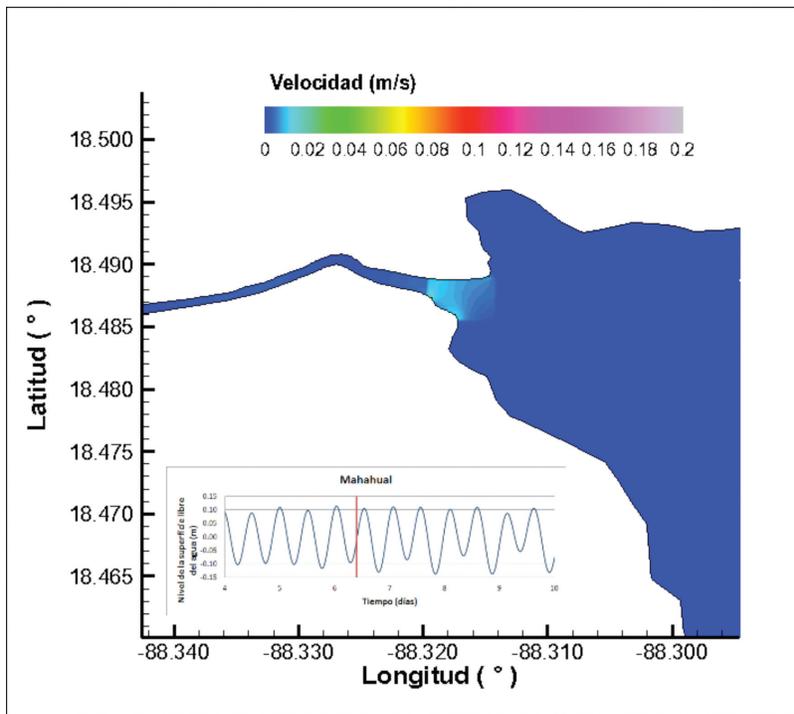


Ilustración 4a. Variación del nivel del mar en el interior de la bahía de Chetumal, considerando que no hay descarga del río Hondo.

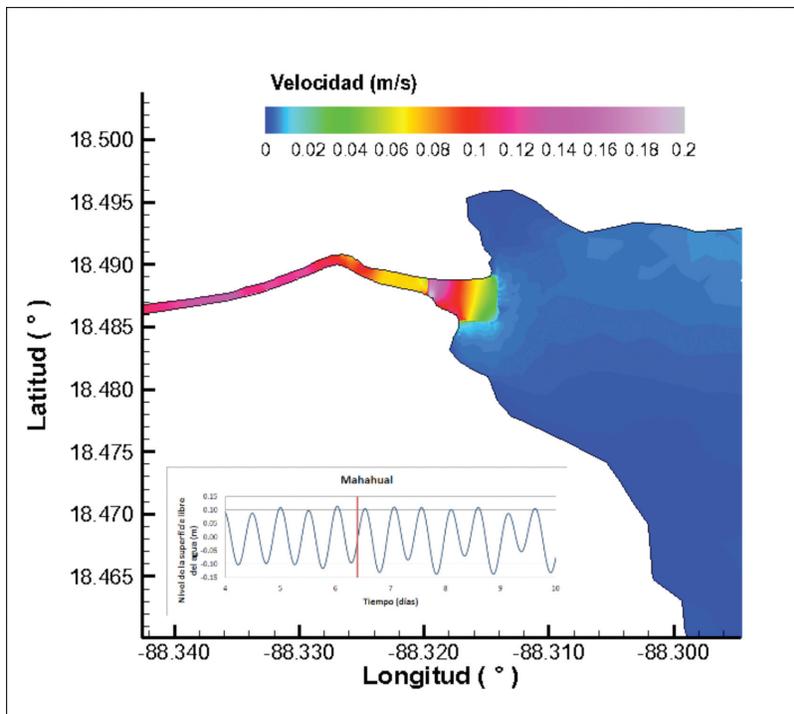


Ilustración 4b. Variación del nivel del mar en el interior de la bahía de Chetumal, considerando una descarga del río Hondo de 80 m³/s.

El presente trabajo se puede tomar como base o configuración de inicio para ir mejorando los parámetros de entrada y, sobre todo, ir capturando otros procesos de lluvia-escurrimiento e incorporarlos al proceso de calibración y predicción.

Bibliografía

EGBERT, G. D., EROFEEVA, S. *Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides*. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19, 183–204.

García, A., KAUFFER, E. Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte*, Vol. 23, Núm. 45, enero-junio, 2011, pp. 131-161.

INEGI, Cartas topográficas E16C12, E16C13, E16C14, E16A83, E16A84, E16A85, E16A72, E16A73, E16A74, E16A76, E16A62, E16A63, E16A64, E16A65, E16A66, E16A55, E16A56, E16A45, E16A46, E13D19 Y E13B89, escala 1:50,000.

ISO 748. *Measurement of liquid flow in open channels-Velocity-area methods*.

ISO/TR 5168. *Measurement of fluid flow-Evaluation of uncertainties*.

ISO 1100-1. *Part 1: Establishment of a gauging station*.

ISO 1100-2. *Part 2: Determination of the stage-discharge relation*.

ISO 4369. *Measurement of liquid flow in open channels- Moving-boat method*.

ISO/TS 24154. *Hydrometry-measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers*.

ISO/TS 15769. *Hydrometry determinations-Liquid flow in open channels and partly filled pipes-Guidelines for the applications of Doppler based flow measurement*.

WESTERINK, J.J., BLAIN, C. A., LUETTICH, R. A. y SCHEFFNER. W. N. ADCIRC. *An advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts, and estuaries*. Report 2, User's manual for ADCIRC-2DDI. Washington, DC: Department of the Army, US Army Corps of Engineers, 1994.

Resumen curricular

Víctor Manuel Arroyo Correa. Ingeniero Civil por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (1987). Maestro en Ingeniería en Hidráulica (1994) y doctor en Ingeniería en Hidráulica por la UNAM (2005). Principales líneas de investigación: métodos numéricos, flujo de agua y transporte de contaminantes en medios porosos no saturados, drenaje agrícola y medición del agua.

Jose Luis Acosta Rodríguez. Ingeniero Civil y maestro en Ingeniería por la UNAM. Actualmente es el Director Técnico del Organismo de Cuenca Península de Yucatán.

Ariosto Aguilar Chávez. Ingeniero Civil por Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Maestría y doctorado por la UNAM. Especialista en Ingeniería de Regadíos por el CEDEX de España. Producción: siete artículos en revistas arbitradas, cinco capítulos en libro, seis libros, dos patentes, 35 artículos presentados in extenso en foros internacionales y nacionales, y 55 informes técnicos. Investigador Nacional Nivel I de 2005-2008, Premio Nacional Enzo Levi 2008 a la Investigación y Docencia, AMH. Presidente del Comité Académico de Inge-

nería Hidráulica-Campus Morelos UNAM. Subcoordinador de Hidrobiología y Evaluación Ambiental del IMTA.

Mauricio de Jesús Escalante Estrada. Ingeniero Civil por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (1985). Maestro en Ingeniería en Hidráulica por la UNAM (1991). Especialista en hidráulica de la Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. Especialista en modelación numérica de hidrodinámica de cuerpos a superficie libre, y de hidrometría ultrasónica en canales ríos y presas.

Armando Laurel Castillo. Ingeniero Civil y maestro en Ciencias en Hidráulica por el Instituto Politécnico Nacional. Su área de especialidad es la simulación numérica de flujos a superficie libre (cuerpos lagunares, ríos, propagación de oleaje, vertedores).

Víctor Mejía Astudillo. Área de trabajo: operación y mantenimiento de laboratorios de hidráulica, medición de grandes volúmenes de agua. Supervisor especializado en la instalación y operación de equipos de medición en grandes conductos a presión y a superficie libre.

Cecia Millán Barrera. Ingeniera Civil por Instituto Tecnológico de Chilpancingo (1994). Maestra en Ingeniería Hidráulica por la UNAM (2001). Principales líneas de investigación: modelación hidrodinámica de cuerpos con superficie libre y en con-

ductos a presión, así como modelación de flujo en obras hidráulicas. Supervisión de instalación de medidores de caudal en centrales hidroeléctricas.

Rubén Morales Pérez. Licenciatura en Oceanología por la Universidad Autónoma de Baja California (1982). Maestría (1991) y doctorado (1994) en Oceanografía Física por la Universidad de Gales, Gran Bretaña (1982) (1994). Principales áreas de investigación: oceanografía costera, modelación hidrodinámica y cambio climático

Guillermo Reza Arzate. Ingeniero Civil y maestro en Ingeniería por la UNAM (1983) (1988). Especialidad en Obras Marítimas (1985) por la UNAM. Principales líneas de trabajo: hidráulica marítima, ciclones tropicales y tormentas severas, fenómenos hidrológicos, instrumentación hidrometeorológica, sensores remotos y estudios de campo. Campañas experimentales de campo para el estudio del inicio, ocurrencia y mecanismos de disparo de las tormentas convectivas intensas.

Gilberto Salgado Maldonado. Ingeniero Civil y maestría en Hidráulica General por el Instituto Politécnico Nacional. Principales líneas de investigación: flujo de lodos y debris, estudio en modelos hidráulicos físicos para el estudio de vertedores e instrumentación para la medición de flujo en pozos y canales.

EVALUACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN INSTALADA PARA EL MONITOREO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y SEGURIDAD DE LAS PRESAS

R. Álvarez y J. Avilés

Participantes en el proyecto:
R. Briseño, R. Gómez, R. Gontes, J. González,
A. López, I. Robles y G. Salgado.

Resumen

Por muchos años, el monitoreo de la instrumentación de presas fue llevado a cabo por la Conagua; sin embargo, hace algunos años se dejó de hacer en algunas presas debido al retiro de personal. Dicha Comisión ha retomado esta labor y solicitó al IMTA, entre otras instituciones, revisar los instrumentos instalados en presas, pues es necesario conocer el estado que guardan y elaborar una propuesta para su mantenimiento, rehabilitación o modernización, a fin de continuar con el proceso de monitoreo del comportamiento estructural. Para complementar los trabajos de campo, también se realiza la inspección Nivel I de seguridad de presas, siguiendo los lineamientos de la Comisión Nacional del Agua.

Introducción

Entre las obras hidráulicas más importantes se tienen las presas, mayormente

construidas con cortinas de materiales graduados. Estos cuerpos masivos de tierra y enrocamiento están sujetos a diversas cargas estáticas y dinámicas que deben resistir con suficiencia para operar con seguridad. Sin embargo, no se conoce con toda profundidad su comportamiento estructural debido a la heterogeneidad de los materiales, de suerte que no existen modelos matemáticos predictivos que sean 100% confiables. Luego, se hace necesaria la observación metódica del comportamiento estructural, tanto de las cortinas como de todos y cada uno de los componentes de una presa incluyendo, por supuesto, sus basamentos y laderas, que constituyen la boquilla de la cortina.

Las presas y sus estructuras se instrumentan, primordialmente, para detectar problemas específicos que puedan ocurrir dadas las características de la cimentación, las laderas del sitio y materiales que las constituyen. Dependiendo de las cargas actuantes, las características geométricas

de las estructuras suelen cambiar lentamente y, para una observación a simple vista, pueden ser imperceptibles. De ahí la necesidad de emplear instrumentación de diferente tipo que permita un monitoreo continuo; por ejemplo: el desplazamiento que puede medirse a partir de una referencia de origen. Otros parámetros, también importantes que debe medirse en un cuerpo de materiales graduados, es la presión que se genera tanto por el peso propio del material como por el generado por la interacción del agua, sobre todo cuando los niveles de ésta cambian rápidamente.

La observación in situ permite obtener información para introducir datos nuevos que enriquezcan los modelos matemáticos predictivos. Por otro lado, una observación frecuente y detallada del comportamiento estructural permitirá tomar decisiones oportunas encaminadas a la operación segura de una presa.

Este monitoreo hace posible la interpretación integral de un conjunto histórico de datos que reflejan las condiciones de las estructuras, con lo que se estará en posibilidad de conocer el origen de fallas, fracturas, agrietamiento, cizallamientos, deformaciones verticales o hundimientos y deformaciones laterales o flexionantes.

Por lo anterior, esta observación metódica sirve para conocer el comportamiento estructural durante el proceso de construcción: primer llenado y, posteriormente, en su operación, desde el punto de vista de geometría, deformaciones, esfuerzos, presiones, caudales, etcétera.

La instrumentación en una presa se puede clasificar en dos categorías: 1) instrumentación original, planeada e instalada

para monitorear el comportamiento y la seguridad estructural, y 2) instrumentación adicional, instalada durante modificaciones de la sección y/o altura de la cortina o para investigar problemas específicos.

La revisión de los datos de instrumentación de una presa sirve para obtener información que puede emplearse en el análisis de estabilidad, o bien, para verificar los resultados del análisis mediante la comparación de respuestas calculadas y medidas. Por ejemplo: suelen usarse los datos piezométricos en análisis estáticos de estabilidad de taludes, los datos de movimientos sísmicos para realizar análisis dinámicos de estabilidad o de licuación potencial, etcétera.

El tipo, número y localización de los instrumentos en el cuerpo de una presa y su cimentación varía considerablemente de un proyecto a otro. En general, se tiene necesidad de aumentar la instrumentación en presas con estratos débiles en su cimentación, o conforme aumenta la altura de la presa. Entre los instrumentos que se usan con más frecuencia están: testigos superficiales y de cimentación, piezómetros abiertos y neumáticos, inclinómetros, testigos hidráulicos, celdas de presión y acelerógrafos.

Con frecuencia, las fallas rápidas en presas están precedidas por un periodo de movimientos lentos. Esto justifica revisar los datos de instrumentación periódicamente para reconocer un problema de estabilidad en las primeras etapas de su evolución, efectuar los estudios y análisis necesarios e implementar las medidas correctivas requeridas.

Algunos indicadores de inestabilidad es-

tática son: grietas longitudinales en la corona o taludes, los puntos de testigos superficiales indican movimientos, la instrumentación interna señala presiones de poro excesivas en la cortina y/o la cimentación, entre otros.

Los trabajos realizados por la Subcoordinación de Obras y Equipos Hidráulicos, a solicitud de la Gerencia de Proyectos de Infraestructura Hidroagrícola de la Conagua, generó experiencias que han motivado la exploración y desarrollo de instrumentación propia del IMTA para resolver la problemática detectada en la evaluación del funcionamiento de la instrumentación instalada. Esto último es relevante, ante la necesidad de instalar instrumentación nueva, o bien, mantener o sustituir instrumentos antiguos para medir con precisión presiones de poro y filtraciones, esfuerzos y deformaciones y movimientos sísmicos.

Durante 2011 y 2012 fueron inspeccionadas por el IMTA 24 presas seleccionadas por la Conagua, de un total identificado de 118 presas, tanto a Nivel I de seguridad como para el diagnóstico de la instrumentación instalada en cada una de ellas. Se encontraron 21 tipos diferentes de instrumentos para monitoreo de seguridad estructural de presas y un total de 2,639 instrumentos, contemplados como “de proyecto”, de los cuales sólo se encontraron instalados 2,369 equipos, es decir, el 89.76% de los considerados como “de proyecto”. Se evaluaron como funcionales 2,011 instrumentos de medición, el 76.20% de los originalmente proyectados. Referente a los instrumentos instalados, únicamente funciona el 84.89%, que con mantenimiento menor se mantendrán operativos; 15.11% requerirán sustituciones, reparaciones mayores, o bien, ponerlos fuera de servicio definitivamente (tablas 1 y 2, e ilustración 1).

Resultados



Ilustración 1. Estadísticas de los elementos encontrados en la evaluación.

Tabla 1. Total de instrumentos localizados en 24 presas de utilidad hidroagrícola.

Instrumentos	Proyectados	Instalados	Operando
Acelerógrafos	12	14	8
Anclas extensométricas	8	7	5
Banco de nivel	14	17	17
Celdas de presión	49	37	24
Drenes en galería	47	47	47
Extensómetros eléctricos	35	41	2
Extensómetros mecánicos	67	45	13
Inclinómetros	102	99	73
Mira de Referencia	17	20	20
Monumentos	18	17	17
Pernos de convergencia	14	14	14
Pernos extensométricos	8	8	8
Piezómetros abiertos	247	218	157
Piezómetros neumáticos	126	69	13
Piezómetros regionales	12	9	5
Pozo de observación	0	3	3
Testigos de cimentación	35	21	21
Testigos de deformación vertical	8	4	4
Testigos hidráulicos	25	20	16
Testigos superficiales	1763	1635	1533
Vertedores de aforo	32	24	11
Total de instrumentos	2639	2369	2011

Tabla 2. Instrumentos por presa		Acelerógrafos	Anclas extensométricas	Banco de nivel	Celdas de presión	Drenes en galería	Extensómetros eléctricos	Extensómetros mecánicos	Inclinómetros	Mira de Referencia	Monumentos	Pernos de convergencia	Pernos extensométricos	Piezómetros abiertos	Piezómetros neumáticos	Piezómetros regionales	Pozo de observación	Testigos de cimentación	Testigos de deformación vertical "crecellus"	Testigos hidráulicos	Testigos superficiales	Vertederos de aforo		
		Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados
Bacurato									10					17	34							59		
Recorrido de campo en 2011								10						11	5							59		
								9						11	0							56		
Bayacora					12			12	7					12	12			9				98		
Recorrido de campo en 2011					0			0	7					27	0			0				100		
					0			0	3					13	0			0				50		
Cerro Prieto									1					36	19							161	7	
Recorrido de campo en 2011								1						20	0							158	6	
								0						8	0							148	4	
Comaquito														0								0		
Recorrido de campo en 2011														0								13		
														2								13		
Comedero																								
Recorrido de campo en 2011							0	9	4													87		
							9	0	4													78		
							0	0	3													77		

Tabla 2. Instrumentos por presa		Acelerógrafos	Anclas extensométricas	Banco de nivel	Celdas de presión	Drenes en galería	Extensómetros eléctricos	Extensómetros mecánicos	Inclinómetros	Mira de Referencia	Monumentos	Pernos de convergencia	Pernos extensométricos	Piezómetros abiertos	Piezómetros neumáticos	Piezómetros regionales	Pozo de observación	Testigos de cimentación	Testigos de deformación vertical "crecellus"	Testigos hidráulicos	Testigos superficiales	Vertedores de aforo	
		Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados
Cuchillo							14		6					20	8						195		
Recorrido de campo en 2011							6		6					15	12						194		
El Molinito							0		6					6	0						194		
Recorrido de campo en 2011														6			0				37	0	
Juan Sabines		4																			64	1	
Recorrido de campo en 2011		4							5						15						64	1	
Guadalupe		0							4						2						64	1	
Recorrido de campo en 2011																					54		
Los Naranjos					21		14		6					20	8						87		
Recorrido de campo en 2011					21		19		6					10	13						51		
Recorrido de campo en 2011					16		0		6					8	7						51		
Los Naranjos		2						4	8			6		14							139		
Recorrido de campo en 2011		2						3	11			6		21							99		
Recorrido de campo en 2011		1						3	6			6		11							95		

Tabla 2. Instrumentos por presa		Acelerógrafos	Anclas extensométricas	Banco de nivel	Celdas de presión	Drenes en galería	Extensómetros eléctricos	Extensómetros mecánicos	Inclinómetros	Mira de Referencia	Monumentos	Pernos de convergencia	Pernos extensométricos	Piezómetros abiertos	Piezómetros neumáticos	Piezómetros regionales	Pozo de observación	Testigos de cimentación	Testigos de deformación vertical "crecellus"	Testigos hidráulicos	Testigos superficiales	Vertedores de aforo
		Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando
Madín																						
Recorrido de campo en 2011	Proyectados	3			8		7		6					29	8					10	29	3
	Instalados	3			8		7		6					20	8					10	38	3
	Operando	3			0		2		6					19	3					6	38	0
Francisco Zarco																						
Recorrido de campo en 2011	Proyectados				6			12	6					8			0			15	31	2
	Instalados				6			12	6					8			2			10	23	2
	Operando				6			10	5					7			2			10	23	0
Miguel Alemán "El Temascal"																						
Recorrido de campo en 2011	Proyectados	0												9						8	104	
	Instalados	2			6					4	4			1	2					4	100	1
	Operando	2			6					4	4			1	0					4	97	1
Revolución Mexicana "El Guineo"																						
Recorrido de campo en 2011	Proyectados	5			2	2			5	2	2			9	2						76	
	Instalados	5			2	2			5	3	2			11	2						67	
	Operando	3			2	2			2	3	2			8	0						65	
Pico del Águila																						
Recorrido de campo en 2011	Proyectados				2				4	3	1	1		9	1						47	
	Instalados				1				3	3	1	1		7	1						45	
	Operando				1				3	3	1	1		7	1						32	

Tabla 2. Instrumentos por presa		Vertedores de aforo	Testigos superficiales	Testigos hidráulicos	Testigos de deformación vertical "crecellus"	Testigos de cimentación	Pozo de observación	Piezómetros regionales	Piezómetros neumáticos	Piezómetros abiertos	Pernos extensométricos	Pernos de convergencia	Monumentos	Mira de Referencia	Inclinómetros	Extensómetros mecánicos	Extensómetros eléctricos	Drenes en galería	Celdas de presión	Banco de nivel	Anclas extensométricas	Acelerógrafos			
		Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando	Proyectados	Instalados	Operando
El Ancón													1												
Recorrido de campo en 2011			66										1												
El Centenario																									
Recorrido de campo en 2011			48	0						0			1	1											
Cerro de Oro																									
Recorrido de campo en 2011			145	0		10				18	8		4	4	13					2					
El Carrizo																									
Recorrido de campo en 2011			187	1		9				10	5		0	0	7					1					
TOTALES			187	0		9				9	0		0	0	4					1					
Recorrido de campo en 2011			39							2			1	1	2					1					
TOTALES			37							6			1	1	2					0					
Operando			36							6			1	1	2					0					
TOTALES			1763	32	8	35	0	126	247	8	14	18	17	102	67	35	47	49	14	8	8	12	14	12	
Proyectados		12	8	14	49	47	35	67	102	17	18	14	14	14	14	14	14	14	14	8	247	126	8	25	
Instalados		14	7	17	37	47	41	45	99	20	17	14	14	14	99	20	17	14	8	8	218	69	9	20	
Operando		8	5	17	24	47	2	13	73	20	17	14	14	14	73	20	17	14	8	8	157	13	5	16	
Proyectados: 2639		Instalados: 2369																						Operando: 2011	

Tanto en las tablas como en las ilustraciones, se aprecia que el mayor número de dispositivos de medición son los testigos superficiales (foto 3), los piezómetros abiertos (foto 4) y los inclinómetros.



Foto 3. Testigo superficial instalado en la cortina de la Presa Madín.



Foto 4. Evaluación de un piezómetro abierto. Presa El Naranjo, Durango.

Para los trabajos de evaluación de los dispositivos de medición, resultó muy útil su identificación en plano, localizándolos previamente en campo y georreferenciándolos en coordenadas UTM, con lo que el inventario de instrumentos quedó completo, dando la posibilidad de visualizar cuáles de ellos son reparables, sustituibles, o bien,

que deben darse de baja o reponerse con otra tecnología de medición.

Los proyectos de evaluación de instrumentos proporcionaron la oportunidad para que el grupo de trabajo de la Subcoordinación de Obras y Equipos Hidráulicos desarrollara equipos para la verificación

en campo de los instrumentos instalados, como fue el caso del sistema para probar celdas de carga y piezómetros neumáticos (foto 1). También, y con apoyo de la Gerencia de Aguas del Valle de México, se fabricaron *dummies* para prueba de la instalación de inclinómetros (foto 2). Se tiene ahora en proceso el desarrollo de una sonda especial que será tema de patente, denominada “Metrosonda”, y que tendrá dos sensores especializados: uno para detectar el fondo de la instalación y otro para detectar el nivel del agua dentro de

piezómetros abiertos, o bien, dentro de los tubos de inclinómetros instalados en las presas. Se pretenderá que la medición de la longitud de la sonda sea electrónica, evitando con esto las marcas metálicas que normalmente tienen las sondas de profundidad. Se considera, además, la posibilidad de lograr un desarrollo tecnológico para la medición en las instalaciones inclinométricas, que tienen como propósito el seguimiento de las deformaciones verticales y horizontales en el cuerpo de una cortina.

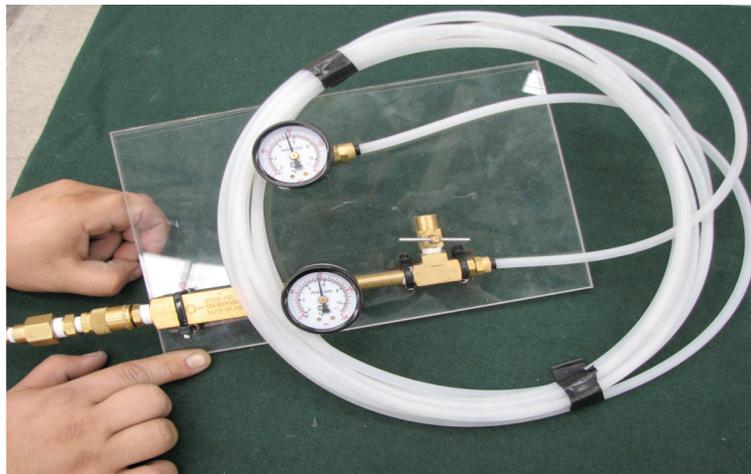


Foto 1. Equipo desarrollado para evaluación de piezómetros neumáticos y celdas de presión.



Foto 2. Evaluación de un inclinómetro, empleando un *dummy*. Presa Rojo Gómez.

Durante el desarrollo de los trabajos de campo, los principales obstáculos encontrados fueron los siguientes:

- No disponer de archivos históricos de instalación instrumental y medición de los dispositivos en casi todas las presas inspeccionadas.
- No disponer de los equipos interrogadores de los dispositivos instalados en las presas, como fue el caso de los extensómetros eléctricos, celdas de presión y piezómetros neumáticos que, aunque algunos de ellos se evaluaron como funcionales, no es posible monitorear con ellos, porque no hay forma de interpretar las señales que proporcionan.
- No conocer la posición del sensor dentro del cuerpo de la cortina limita la posibilidad de una correcta interpretación de la información que pudiera obtenerse con los instrumentos instalados. Esto es parte de la problemática del inciso a).
- El vandalismo al que están expuestos todos los puntos visibles de los instrumentos reducen su eficacia, por lo que durante un proceso de mantenimiento instrumental habrá que evitar la vulnerabilidad de dichos puntos de medición.
- El intemperismo también hace lo suyo. En algunos casos, el deterioro del concreto es severo, así como la oxidación de los componentes metálicos. Asimismo, se ve afectada la pintura empleada para marcar o rotular los dispositivos, por lo que durante un proceso de man-

tenimiento instrumental en la presas debe considerarse que la rotulación sea redundante, empleando pinturas de mayor duración y placas de PVC o metálicas con marcas indelebles; sustituir las piezas de concreto dañadas, así como las partes metálicas corroídas, y proteger con pinturas que resistan mejor el intemperismo.

Conclusiones y recomendaciones

Debe considerarse la instrumentación de campo como pieza fundamental en el monitoreo del comportamiento estructural para seguridad de presas. Dos actividades fundamentales para el monitoreo que deben ejecutarse apropiadamente son: 1) un programa de mantenimiento de equipos e instrumentos que garantice su operación en campo, y 2) dar continuidad a los monitoreos realizados en las presas instrumentadas.

Bibliografía

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS, SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA, DIRECCIÓN GENERAL DE IRRIGACIÓN Y DRENAJE. Instrumentación y monitoreo del comportamiento de las obras hidráulicas. *Manual de mecánica de suelos*. México: Dirección de Ingeniería Experimental, tomo VII, 1968.

Resumen curricular

Ricardo Álvarez Bretón. Ingeniero Civil (1979) y maestro en Ingeniería en Aprovechamientos Hidráulicos (1998) por la UNAM. Especialista en el IMTA desde 1989. Dedicado al diseño y operación de laboratorios de hidráulica en instituciones como

la UNAM, en la UMSNH y en IMTA. Ha participado en proyectos de modelación física e hidráulica experimental, así como en el desarrollo, construcción y operación de instrumentación de laboratorio y campo.

Javier Avilés López. Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Puebla (1978). Maestro y doctor en Ingeniería en Estructuras por la UNAM (1981) (1985). Ha sido

Ingeniero Calculista en DYS (Diseño y Supervisión), ayudante de profesor en la UNAM, profesor de la Universidad Autónoma de Puebla, investigador del Instituto de Investigaciones Eléctricas e investigador del IMTA. Sus áreas de especialidad son la mecánica estructural y la ingeniería sísmica.

ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN LÍNEAS DE CONDUCCIÓN ABASTECIDAS POR EL ACUEDUCTO CONEJOS-MÉDANOS EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

V. G. Tzatchkov y V. H. Alcocer

Resumen

El acueducto Conejos-Médanos contiene una parte de tubería de PVC que ha sufrido 19 fallas (roturas) en diferentes puntos. La tubería, no obstante, cumple con las normas. Se realizó un estudio para determinar las causas que generaron las fallas y plantear soluciones para evitar nuevos incidentes en el futuro. Se encontró que el modo de falla de los tubos corresponde al fenómeno de “propagación rápida de grietas” (*Rapid Crack Propagation*), fenómeno no conocido hasta ahora en México y poco conocido en los Estados Unidos de América. Se recomendaron pruebas especiales de laboratorio para confirmar esta hipótesis. Como soluciones, se recomendó sustituir las tuberías de PVC por tuberías de otro material u operar el acueducto con presiones menores de la presión crítica para el fenómeno propagación rápida de grieta. Lo último, se puede lograr creando pérdidas de carga artificiales con la adición de placas orificio en puntos adecuados, para lo cual se diseñó una placa multiperforada, combinada con una válvula de mariposa para ajuste fino.

Introducción

El acueducto Conejos-Médanos, que inició operación en mayo de 2010, consiste en una batería de pozos, rebombeo, tanque de cambio de régimen y línea de conducción que entrega agua (con gasto de diseño de 1,075 L/s) a tres tanques, llamados “Tanques de Entrega”, ubicados en Ciudad Juárez, Chih. De los Tanques de Entrega parte una línea, de material PVC de 36” (0.9144 m) de diámetro, que abastece por gravedad a otros tanques. Del mes de junio 2011 hasta julio 2012, la línea de conducción de PVC ha sufrido 19 fallas (roturas) en diferentes puntos de su extensión que han ocasionado daños a viviendas cercanas y a las vialidades por donde pasa la línea. La mayor parte del acueducto fue construida por la compañía CARSO. La tubería se compone de tramos intercalados de dos marcas: JM Eagle y Diamond, ambas de los Estados Unidos de América, de la misma clase de resistencia nominal RD 25 para las dos marcas. Todas las 19 roturas han sucedido en tubos de la marca JM Eagle.

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) instaló registradores de presión en

diferentes puntos de la línea; entre ellos, en puntos cercanos a los puntos de las fallas, que han registrado la presión en forma continua en periodos que llegan hasta 54 días. Los registros obtenidos muestran que las presiones medidas no superan la presión nominal definida por la clase de la tubería. Tubos de la marca JM Eagle, de la misma partida de tubería de PVC que los instalados, fueron llevados a un laboratorio del fabricante en los Estados Unidos de América donde se les practicaron las pruebas de presión de corta duración correspondientes a la norma AWWA C905-97, y la prueba de sumersión en acetona, en presencia de personal de la JMAS y de la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS). Los tubos pasaron las pruebas. Personal del proveedor de la tubería JM Eagle acudió al lugar de las fallas y la única observación que hizo fue que las cajas de las válvulas de aire carecían de ventilación adecuada.

Ante esta situación, se realizó un estudio para determinar las causas que generaron las fallas en el acueducto, y así plantear soluciones de cambios o mejoras para evitar nuevos incidentes en el futuro. En principio, las fallas que ocurren en una línea de conducción pueden deberse a una, o varias, de las siguientes causas:

- Fenómenos transitorios a tubo lleno que originan sobrepresiones muy altas.
- Sobrepresiones debidas a la formación y dinámica de bolsas de aire no eliminadas, debido a válvulas de aire insuficientes.
- Errores en el proyecto ejecutivo.
- Obra no realizada, de acuerdo con el proyecto ejecutivo.

- Errores u omisiones en la construcción.
- Supervisión insuficiente en la construcción.
- Asentamientos diferenciales del terreno.
- Fatiga del material de la tubería.
- Defectos de fabricación en la tubería.
- Válvulas incorrectas.

Resultados

Dada la diversidad de posibles causas, el estudio requirió de acopio y análisis de una gran cantidad de información, en particular:

- Se entrevistó al personal de la JMAS.
- Se entrevistó a personal de la compañía CARSO y se vieron los registros de su sistema de telemetría.
- Se revisaron los informes de las pruebas de laboratorio practicadas en los Estados Unidos de América.
- Visitas a las líneas de conducción, con revisión del estado actual de las válvulas de aire, válvulas de control de nivel y otra infraestructura.
- Se revisó el proyecto ejecutivo.
- Se revisaron los planos de obra terminada y la bitácora de obra.
- Se revisaron las condiciones de instalación de la tubería y los eventuales asentamientos del suelo, como posible razón de las fallas.
- Se revisaron los reportes de mantenimiento de las válvulas de aire.
- Se revisó la procedencia de la observación del fabricante de la tubería, de que la causa del problema era que las cajas donde se alojaban las válvulas de aire carecían de ventilación, y fue atendida.

- Se revisaron los registros de medición disponibles, de presión, de nivel y de gasto, y se recomendaron nuevas mediciones.
- Se compararon y analizaron las válvulas de aire consideradas en el proyecto con las instaladas, con sus especificaciones y ubicación.
- Personal del IMTA participó en mediciones llevadas a cabo por la JCAS y la JMAS de oxígeno disuelto en muestras tomadas en las válvulas de aire, e inspección directa de la presencia de aire libre en dichas válvulas.
- Personal del IMTA participó en mediciones de campo llevadas a cabo por la JCAS, la JMAS y la Universidad Autónoma de Chihuahua, de la deformación de los tubos en operación de las dos marcas.
- Se analizaron las condiciones de control de caudal que la JMAS practica actualmente, por medio de válvulas en el crucero donde se deriva el agua.
- Se consiguió información de las características y límites de cavitación de las válvulas de mariposa utilizadas en dicho crucero
- De manera conjunta con la JCAS y la JMAS, se realizaron pruebas de cierre parcial de las válvulas de mariposa en dicho crucero, con fines de obtener sus límites de control de presión sin cavitación.
- Se consultaron laboratorios de prueba de materiales y tubos plásticos, nacionales y extranjeros (de los Estados Unidos de América, Canadá y Reino Unido), sobre las posibles causas de las fallas, y se consiguieron cotizaciones.
- Se contactó un experto en fallas en tuberías plásticas de los Estados Unidos de América.

Con base en la información recopilada, se realizó un análisis de la operación de las líneas y tanques para identificar los regímenes transitorios hidráulicos que se presentan, derivados de la variación de la demanda y, con esto, del nivel en los tanques y cierre y apertura de sus válvulas de control. Se implementó un modelo de los transitorios en el sistema que permitió estimar las sobrepresiones resultantes y definir si éstas pueden ser la causa de las fallas.

Las tuberías de PVC están sujetas a fatiga del material. Aunque el sistema donde sucedieron las fallas es relativamente nuevo, la fatiga del material puede tener lugar con una operación altamente variable, por lo que con la información de registros de presión, gasto y niveles en los tanques, apoyados en el modelo, se estimó el número de ciclos de presión variable a que ha sido sujeta la tubería y su magnitud, para evaluar la posibilidad de falla por fatiga.

Todos estos elementos del análisis se combinaron con lo observado en campo, las fotografías existentes y experiencias del personal de operación y construcción, en lo referente a las formas de falla y particularidades de la operación del sistema, así como con opiniones vertidas por personal técnico y directivo de la JCAS y la JMAS para realizar el diagnóstico de las fallas ocurridas.

Conclusiones y recomendaciones

Las fallas presentadas en los tramos de interés no tienen un origen atribuido a una sobrepresión por transitorios hidráulicos. Asimismo, la operación del acueducto no

resulta ser la causa de las fallas o roturas. De la revisión del proyecto ejecutivo y planos de obra, se concluye que no hay errores u omisiones en el proyecto y la construcción que sean fundamentales en las fallas ocurridas. Derivado de las evidencias limitadas asociadas con la condición de la instalación de la tubería, se concluye que no existe evidencia de una instalación incorrecta que pudiera ser el origen de las fallas. La revisión por fatiga del material prueba que dadas las condiciones de operación y edad de la tubería no resulta preponderante en las fallas.

El modo de falla de los tubos corresponde al fenómeno de propagación rápida de grietas. Aun cuando los tubos fueron revisados bajo la norma AWWA C905-10, ésta no considera dicho fenómeno, en el cual las fallas se producen con una presión menor a la resistencia nominal de la tubería. El origen más probable de las fallas se atribuye a presuntos defectos microscópicos en el material de la tubería. Sin embargo, es fundamental apoyarse con pruebas de laboratorios especializados nacionales o extranjeros, y a su vez de la asesoría de expertos en fallas en materiales plásticos que permita interpretar con mayor rigor los resultados de los laboratorios para confirmar esta hipótesis. El IMTA contactó cuatro laboratorios (México, Estados Unidos de América, Canadá e Inglaterra), donde sería viable el envío de las muestras para su análisis.

Dada esta situación, las tuberías pueden seguir fallando (en realidad, ha habido nuevas fallas después de concluir el proyecto del IMTA). La solución más segura sería suspender temporalmente la operación del acueducto Conejos-Médanos y sustituir las

tuberías de PVC por tuberías de otro material, solución no aceptada por la JMAS y la JCAS. Una alternativa es operar el acueducto con presiones menores de la presión crítica para el fenómeno propagación rápida de grieta. Esto se puede lograr creando pérdidas de carga artificiales que reduzcan la presión en las partes bajas. Tales pérdidas de carga se pueden lograr con la adición de placas orificio en puntos adecuados y con estrangulamiento de algunas de las válvulas de seccionamiento existentes (teniendo cuidado de no crear cavitación). Con este fin, el IMTA realizó el diseño de dos placas multiperforadas, combinadas con válvulas de mariposa para ajuste fino, e indicó su ubicación en el acueducto.

Resumen curricular

Velitchko G. Tzatchkov. Ingeniero Civil (1977) y doctor en Ingeniería Hidráulica (1981) por el Instituto Superior de Arquitectura e Ingeniería Civil de Sofía, Bulgaria. Especialista en hidráulica urbana, transitorios hidráulicos y redes.

Víctor Hugo Alcocer Yamanaka. Realizó estudios de maestría y doctorado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (campus Morelos), y en ambos recibió Mención Honorífica. Ha escrito más de ochenta publicaciones relacionadas con la Hidráulica. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, tutor activo de doctorado y maestría en el Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y ganador de los Premios Nacionales de Ingeniería Civil Miguel A. Urquijo, en 2005, y José A. Cuevas, en 2009, otorgados por el Colegio de Ingenieros Civiles de México. Actualmente es Coordinador de Hidráulica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO DE MÉXICO

E. Mateos, J. Salinas, R. Prieto, C. Patiño, J. Santana, I. Reza, G. Colorado, I. Mendoza, E. Maya, J. Rosario, H. Carrillo, A. Deeb, A. Grunwaldt, M. Ayala, M. Hernández, T. Cavazos y P. DeGrau.

Resumen

Se presenta la compilación de tres estudios encaminados a entender el efecto del cambio climático en el recurso hídrico en México. Para ello: a) se analizó la temperatura y lluvia en diez cuencas hidrológicas mexicanas, para el periodo histórico de 1960-1999. b) se analizó la temperatura y la precipitación de simulaciones numéricas de 15 modelos de circulación general del CMIP5, para los escenarios de radiación RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 en dos periodos del siglo XXI: de 2015 a 2039 y de 2075 a 2099, c) utilizando escenarios de cambio climático regionalizados A1B del CMIP3, para el año 2030 se realizaron cálculos de escurrimiento superficial. En todos los análisis efectuados (datos históricos y escenarios futuros), la temperatura superficial muestra un incremento. Por otro lado, la precipitación pluvial anual en México es menor. Bajo el escenario A1B se estima que el escurrimiento superficial disminuirá hasta un 7%. Se sugiere fortalecer los estudios y la información de las variables climatológicas, así como implementar estrategias adecuadas para el manejo del recurso hídrico en México.

Introducción

El cambio climático es el fenómeno ambiental que ha alcanzado mayor relevancia en los últimos años a causa de sus posibles consecuencias. Se considera que la población de escasos recursos de los países en vías de desarrollo será la que sufrirá los efectos más negativos debido a su mayor vulnerabilidad (Soares *et al.*, 2010).

Observaciones recientes en diferentes estudios han mostrado un incremento de la temperatura a escala global. Con la finalidad de entender y evaluar los efectos de estos cambios al planeta y sus formas vivientes, se generaron escenarios de cambio climático (IPCC, 2000) y se actualizaron considerando los forzamientos radiativos ante la presencia de diferentes gases de efecto de invernadero (Moss, *et al.*, 2010). Los escenarios RCP (*Representative concentration pathways*) representan trayectorias de forzamientos radiativos, los cuales se dividen en cuatro grupos: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, que se refieren a la radiación global de energía expresada en W/m^2 . Por ejemplo: RCP8.5 es el escenario más extremo que supone

un incremento en el forzamiento radiativo hasta de 8.5 W/m^2 en el 2100 (Moss *et al.*, 2010). Bajo las condiciones anteriormente mencionadas, es importante entender las afectaciones posibles bajo estos escenarios en los recursos naturales y los servicios del ecosistema. Ello, dada la interdependencia de los factores físicos con los seres vivos. Bajo estos escenarios de cambio climático, la disponibilidad del recurso hídrico se vería seriamente afectada, por lo que uno de los cálculos importantes para estar en condiciones de evaluar la vulnerabilidad hidrológica es el escurrimiento superficial.

Con respecto a la adaptación ante el cambio climático a partir de estas tendencias climáticas y escenarios de cambio climático regionalizados, es un tema con un nivel bajo de implementación en México. En la última década, los enfoques académico y político han estado orientados hacia temas como mitigación, vulnerabilidad y sustentabilidad, entre otros; sin embargo, debido a la problemática que se generó en años anteriores por el efecto de los impactos de la variabilidad climática, se ha hecho cada vez más evidente la importancia de implementar acciones que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad y aumenten la capacidad de enfrentar tales

impactos en los ecosistemas afectados (Reza y Patiño, 2012).

Metodología

Para el estudio histórico se calcularon las tendencias de la temperatura y precipitación pluvial en México. Se analizaron treinta años de datos climatológicos para el periodo comprendido entre 1970 y 1999 para diez cuencas hidrológicas (ilustración 1). Para cada cuenca hidrológica (INEGI, 2007) se seleccionaron los datos de diez estaciones climatológicas, obteniendo un total de cien estaciones (ilustración 1) de la red de estaciones operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), utilizando la base de datos CLICOM. Las estaciones meteorológicas seleccionadas cuentan con, al menos, el 70% de datos válidos por década.

Del conjunto de datos de cada estación se identificaron y eliminaron los valores extremos. Se consideró valor extremo al dato que esté fuera del intervalo () donde y representaba la media y desviación estándar del conjunto de datos, respectivamente. Adicionalmente, se aplicó a los datos la prueba estandarizada normal de homogeneidad (SNHT, por sus siglas en inglés) (Wang *et al.*, 2007; Wang, 2008a; Wang, 2008b).

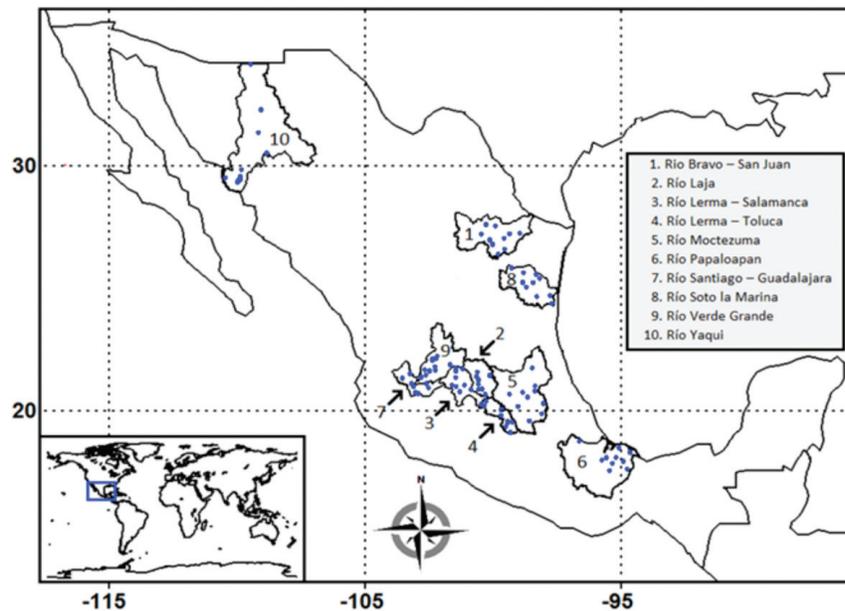


Ilustración 1. Localización de las diez cuencas estudiadas y sus respectivas estaciones climatológicas.
Las posiciones de las estaciones climatológicas están marcadas con puntos.

Se calculó un promedio ponderado de simulaciones numéricas generadas con 15 modelos de circulación general (MCG) (tabla 1) del proyecto de intercomparación de modelos acoplados, fase cinco (CMIP5, por sus siglas en inglés) (Taylor *et al.*, 2011). Para ello, se utilizó el método Fiabilidad del Ensamble Ponderado (REA, por sus siglas en inglés) desarrollado por Giorgi y Mearns (2001), en el cual se le asigna un peso a cada modelo con base en dos criterios: 1) tendencia, diferencia con las observaciones de la base de datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU, por sus siglas en inglés) de la Universidad de East Anglia, y 2) convergencia, diferencia entre simulaciones. Las simulaciones de los MCG fueron interpoladas a la malla del CRU, de 50 x 50 km. Para validar los resultados del REA, se utilizó el CRU. Como

ejemplo, se muestra una de las cuatro regiones analizadas: Región Centro-Sur, que cubre los estados de Nayarit, Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí, este de Veracruz, Querétaro, Puebla, Morelos, DF, Guerrero, Michoacán y este de Oaxaca).

Utilizando los escenarios de cambio climático (A1B y A2) con una resolución de 50 x 50 km, se llevaron a cabo estudios de vulnerabilidad en el escurrimiento superficial (IMTA, 2010). Para ello, se siguió la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana 011 de la Comisión Nacional del Agua, donde se determina la variación en el escurrimiento superficial utilizando la anomalía en la precipitación bajo escenarios de cambio climático, el área de contribución y el coeficiente de escurrimiento (DOF, 2002).

Tabla 1. Modelos del CMIP5 utilizados para el desarrollo de los escenarios de cambio climático mediante el ensamble ponderado del método REA.

Modelos de Circulación General (MCG)		
1. Max-Planck Institute (MPI-ESM-LR)	6. Beijing Climate Center (BCC-CSM1-1)	11. Atmosphere and Ocean Research Institute (MIROC5)
2. Institute for Numerical Mathematics (INM)	7. Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL-cm5a-lr)	12. Met Office Hadley (MOHC)
3. Norwegian Climate Center (NorESM1)	8. NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS-E2-R)	13. Meteorological Research Institute (MRI-CGCM3)
4. Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CanESM2)	9. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC-esm-chem)	14. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-CM3)
5. Centre National de Recherches Meteorologiques (CN-RM-CM5)	10. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC-esm)	15. Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO-MK3-6)

Resultados

El estudio histórico de temperatura y precipitación considera la variación temporal, frecuencias de días cálidos y frecuencias de días fríos (en periodos mensuales, trimestrales o anuales). Las tendencias para la temperatura y precipitación de las diez cuencas analizadas se resumen en la tabla

2. El error asociado a los ajustes calculados, así como los intervalos de confianza (95%) en el cálculo de los promedios, son mostrados en las ilustraciones 2 y 3 para la temperatura y precipitación, respectivamente. En adelante, para el estudio histórico de temperatura y precipitación, sólo presentaremos los resultados de la cuenca Bravo San Juan.

Tabla 2. Tendencias a treinta años de las variables analizadas para las diez cuencas seleccionadas.

Cuencas	Tendencia de temperatura máxima °C / 30 años	Tendencia de temperatura mínima °C / 30 años	Tendencia de lluvia anual mm / 30 años
1. Río Bravo-San Juan	+ 1.75	+ 0.32	-202.85
2. Río Laja	+ 0.64	+ 0.67	-165.35
3. Río Lerma-Salamanca	+ 0.63	- 0.17	-170.87
4. Río Lerma-Toluca	+ 0.94	- 0.62	-40.33
5. Río Moctezuma	+ 1.03	+ 0.24	-7.58
6. Río Papaloapan	+ 0.56	+ 0.23	-141.16
7. Río Santiago-Guadalajara	+ 0.43	- 0.55	-53.68
8. Río Soto la Marina	+ 0.91	+ 0.12	-401.74
9. Río Verde-Grande	+ 2.57	+ 0.44	-105.55
10. Río Yaqui	+ 1.07	+ 0.53	+45.23

La temperatura máxima histórica para la cuenca Bravo-San Juan (ilustración 2a) presenta un valor de tendencia positiva (+0.058°C), lo que sugiere que la temperatura máxima promedio en esta cuenca aumenta a razón de +1°C cada 16.6 años.

Aunado a esto, los periodos cálidos también se han incrementado (ilustración 2b). En el caso del número de días cuya temperatura excede los 40 °C, la recta de ajuste estima que cada 14 años se incrementará en un día esta variable.

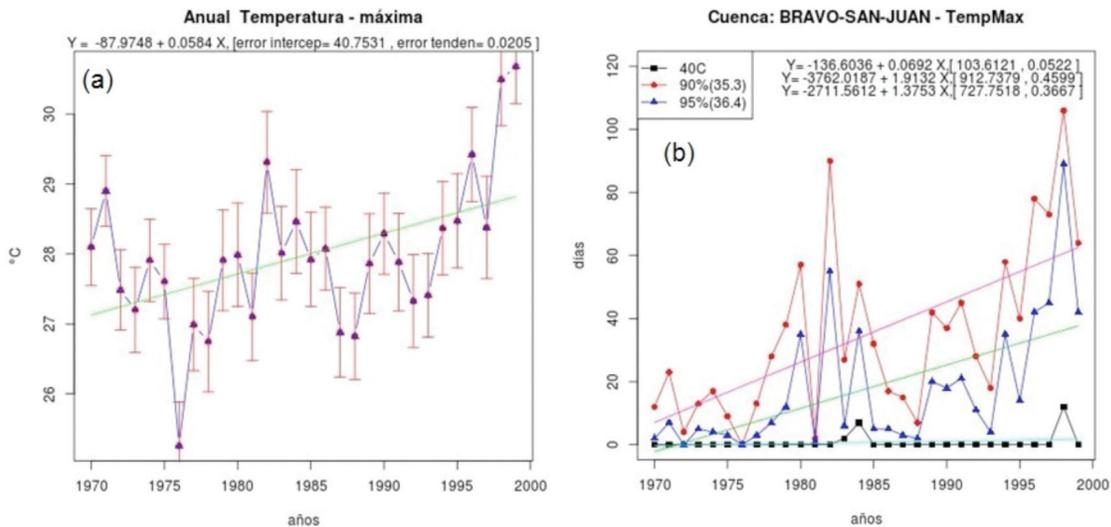


Figura 2. Promedio anual de temperatura máxima (a) y frecuencia de días cálidos (b), para la cuenca Bravo San Juan.

En la ilustración 4 se muestra la variabilidad interanual pasada y futura de la temperatura máxima del REA y el CRU de la Región Centro-Sur de México. La temperatura máxima estimada por el REA es, en promedio, de 2,°C más fría que el CRU, lo que concuerda con lo observado en el ciclo anual, donde el REA está por debajo de los valores del CRU durante todo el año. Las proyecciones futuras de la temperatura en el periodo 2015-2039 muestran una tendencia marcada en los tres escenarios a incrementarse aproximadamente 1°C. Para el periodo 2075-2099, se observa que el RCP8.5 se incrementa notoriamente respecto al resto de los escenarios, dando incrementos hasta de más de 5 °C, mientras

que el RCP6.0 y el RCP4.5 tienen anomalías aproximadas de 3 grados centígrados.

En la cuenca Bravo-San Juan, en la lluvia (estudio histórico) acumulada anual (ilustración 3a) es visible el comportamiento a la baja de la variable analizada (-6.769 mm por año). De esta manera, se estima que la lluvia acumulada anual disminuirá alrededor de 7 mm cada año, por lo que para el año 2020 la cantidad prevista absoluta es de 365 mm. La lluvia acumulada durante el verano (ilustración 3b) tuvo un promedio de 219 mm. La recta de regresión construida indica que el comportamiento de la variable analizada es también a la baja. El parámetro de tendencia, -3.95 mm por

trimestre, indica que la variable analizada disminuiría a razón de aproximadamente 4 mm/trimestre cada verano. Un análisis

de frecuencias (no mostrado) revela que para esta cuenca la frecuencia de precipitación también tiende a disminuir.

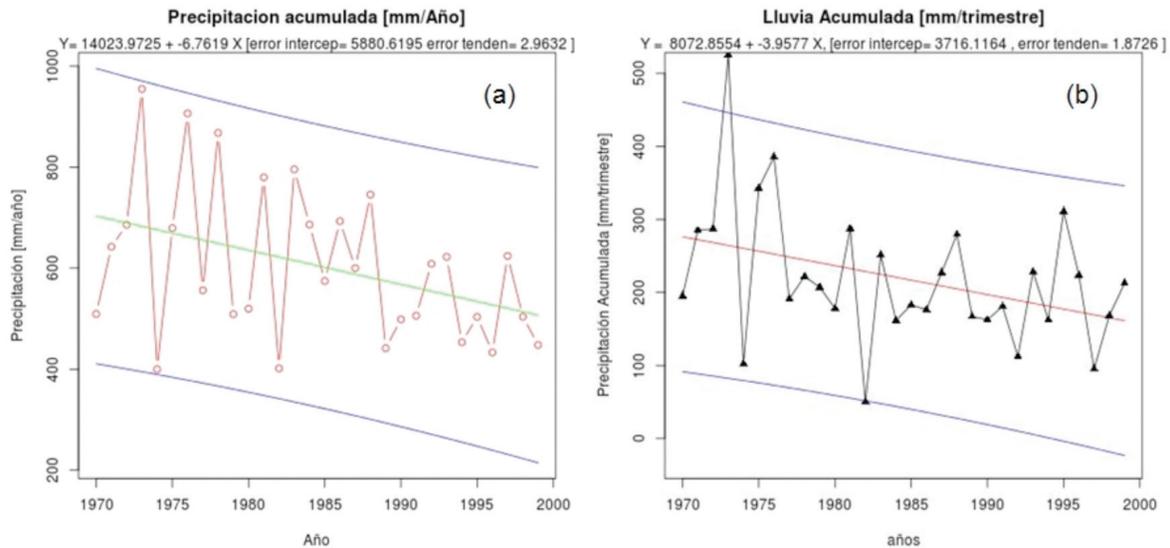


Ilustración 3. Precipitación acumulada anual (a) y trimestral (b) para la cuenca Bravo-San Juan.

Respecto a las proyecciones futuras, se observa que la precipitación podría disminuir aproximadamente 0.15 mm/día en promedio al año, para el futuro cercano (ilustración 5), periodo 2015-2039, en la Región Centro-Sur de México. Mientras

que en el futuro lejano (2075-2099) son mayores las discrepancias entre lo calculado por cada escenario; el RCP8.5 proyecta que la precipitación podría disminuir aproximadamente hasta 0.4 mm/día, en promedio, al año.

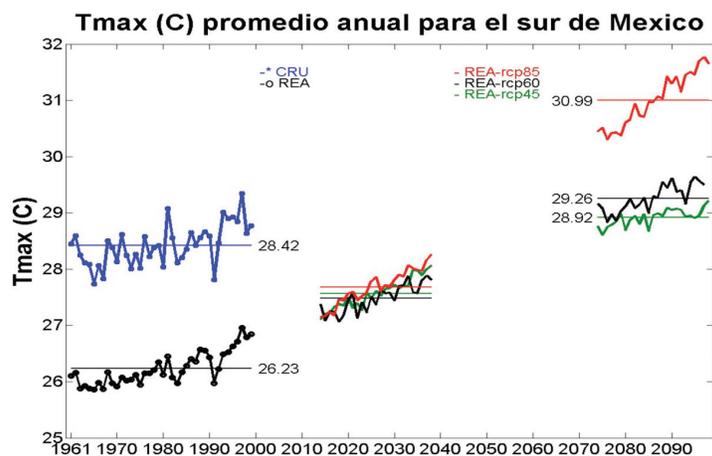


Ilustración 4. Promedios anuales de temperatura máxima durante el periodo observado (1961-2000) para el CRU y el ensamble del REA, para la Región Centro-Sur de México, y las proyecciones bajo tres escenarios de radiación para los periodos 2015-2039 y 2075-2099.

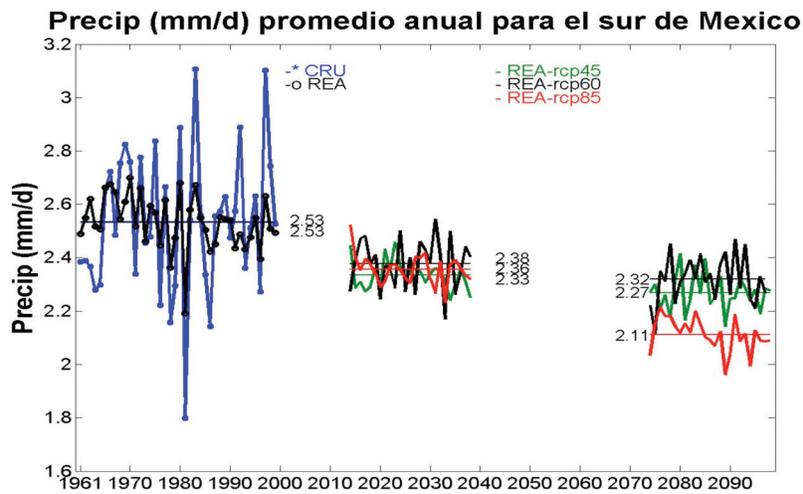


Ilustración 5. Promedios anuales de precipitación durante el periodo observado (1961-2000) para el CRU y el ensamble del REA, para la Región Centro-Sur de México, y las proyecciones bajo tres escenarios de radiación para los periodos 2015-2039 y 2075-2099.

En la ilustración 6 se muestra la anomalía del escurrimiento en porcentaje, proyectado al año 2030 bajo el escenario A1B, con respecto a la precipitación media del periodo de referencia 1961-1990. Como

se observa, en todas las regiones del país el escurrimiento tenderá a disminuir bajo condiciones de cambio climático, presentándose una reducción de hasta el 7% en algunas regiones hidrológicas (IMTA, 2012).

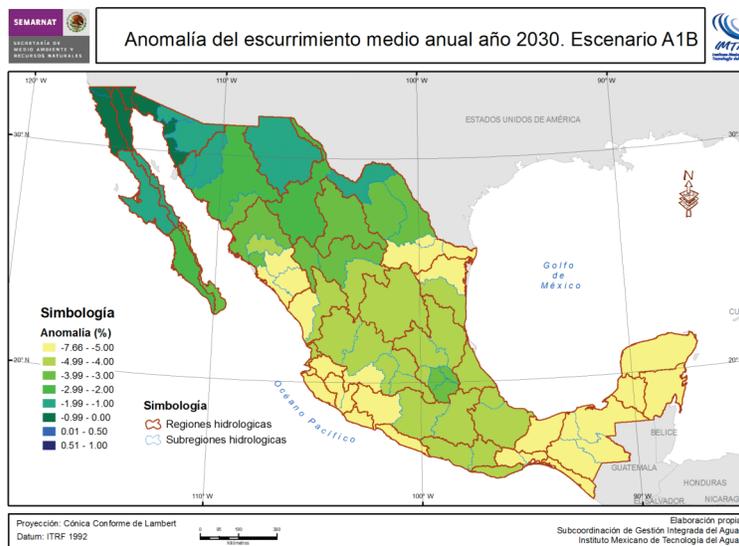


Ilustración 6. Anomalía del escurrimiento bajo escenario de cambio climático A1B, respecto a la media de 1961-1990.

Conclusiones y recomendaciones

Este estudio integral permite valorar el grado de cambio en el clima que se está dando en distintas regiones del país, lo que ayuda a estimar las posibles consecuencias que podría experimentar la población mexicana ante este fenómeno.

Los resultados de temperatura en el estudio histórico, como en el de escenarios futuros, muestran que la tendencia de esta variable es a incrementarse. Además, en el estudio histórico de temperatura, los periodos cálidos muestran un aumento considerable.

Por otra parte, la tendencia (menos marcada que en la temperatura) de la lluvia acumulada es a la baja en el estudio de escenarios futuros (escenario RCP8.5, el más drástico) y en 80% de las estaciones climatológicas analizadas. Estos resultados concuerdan con el obtenido en el estudio de vulnerabilidad, donde se encuentra que el escurrimiento superficial disminuirá hasta un 7%, afectando de manera importante la recarga de los acuíferos. Dada esta información, es crucial:

1. Fortalecer y mejorar la cantidad y calidad de las observaciones climáticas, así como la capacidad para traducir los datos en información fácilmente utilizable.
2. Crear conciencia de los impactos del cambio en el clima a través de mayor investigación de los procesos climáticos, así como mejorar la evaluación de vulnerabilidad en regiones y sectores claves.

3. Promover un uso eficiente del agua, considerando los análisis técnicos, económicos y sociales.
4. Financiar la investigación de eventos extremos asociados con la variabilidad y cambio climático, así como las evaluaciones de vulnerabilidad asociadas con inundaciones y sequías extremas.
5. Fortalecer el sistema de información nacional del recurso hídrico.
6. Complementar los estudios de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático con el sector económico; es decir, incluir los costos y beneficios que tendrá el proceso de adaptación en el recurso hídrico.
7. Generar y aplicar programas de capacitación, tanto a tomadores de decisiones como a profesionales de diversas áreas del conocimiento, para divulgar los alcances y limitaciones de las herramientas para diagnosticar las condiciones atmosféricas.

Referencias

- GIORGI, F. y MEARNNS, L. O. Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the Reliability Ensemble Averaging (REA) method, *J. Climate*, 15, 2001, 1141-1158.
- IMTA. *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SEMARNAT, 2010, 161 pp.
- _____. Informe Final del proyecto *Portafolio de medidas de adaptación al cambio*

climático en el escurrimiento superficial de las regiones hidrológico administrativas de México. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SEMARNAT, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). *Mapa de cuencas hidrográficas de México*. Escala 1:250000. Elaborado por Priego A.G., Isunza E., Luna N. y Pérez J. L. México: INEGI-INE-Conagua, 2007.

IPCC SRES. (Nakićenović, N., and Swart, R., ed.). *Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Consultado en: <http://www.grida.no/publications/other/ipcc%5Fsr/?src=/climate/ipcc/emission/>,

978-052180081-5 (pb: 0-521-80493-0, 978-052180493-6), 2000.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *The fourth assessment report*, 2007. En línea: www.ipcc.ch, 2007.

MOSS, R. H., EDMONS, J.A, HIBBARD, K .A., MANNING, M. R., ROSE S. K., VAN VUUREN, D. P., CARTER, T. R., EMORI, S., KAINUMA, M. KRAM, T., MEEHL, G. A., MITCHELL, J. F. B., NAKICENOVIC, N., RIAHI, K., SMITH, S .J., STOUFFER, R. J., THOMSON, A. M., WEYANT, J. P. Y WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, Vol. 463, 2010, pp. 747-755.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua,

que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual del agua nacional. México: *Diario Oficial de la Federación*, 2002.

REZA, N. I. y PATIÑO, C. (2012). Recurso hídrico: del diagnóstico a la adaptación ante el cambio climático. Acapulco, Guerrero, México: XXII Congreso Nacional de Hidráulica.

SOARES, D., ROMERO, R. y LÓPEZ, R. (2010). Índice de vulnerabilidad social. En *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SEMARNAT, 2010, pp. 81-113.

TAYLOR, K. E., STOUFFER, R. J. y MEEHL, G.A. A summary of the CMIP5 Experiment Design. Submitted to *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2011.

WANG, X. L. L., WEN, Q. H. y WU. Y. H. (2007). Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 2007, 916-931.

WANG, X. L. L. Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25, 2008, pp. 368-384.

_____. Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 2008, 2423-2444.

AUTOMATIZACIÓN PARA ELABORAR MAPAS DE ALERTAMIENTO POR FRENTE FRÍOS Y NORTES

R. Prieto, J.A. Salinas y C. Hernández

Resumen

Se implementó el Sistema de Alerta Temprana para frentes fríos y nortes, basado en una climatología generada con datos del modelo *North American Mesoscale Model*, determinando valores umbrales de temperatura mínima, precipitación y viento asociados al paso de frentes fríos y nortes en México. El sistema identifica de manera anticipada y automatiza condiciones meteorológicas que representen valores extremos de las variables mencionadas. Este sistema ha funcionado de modo operativo a partir de la temporada invernal 2012-2013, demostrando una alta utilidad para la prevención de condiciones adversas asociadas a la llegada de fenómenos invernales a territorio mexicano.

Introducción

Los frentes fríos y nortes se encuentran entre los fenómenos meteorológicos que tienen alto impacto en nuestro país, ya que pueden afectar las actividades socioeconómicas y producir daños a la población, así como causar pérdidas humanas. La llegada de estos fenómenos es predecible con un alto grado de detalle con varios días de anticipación, por lo que

la preparación ante sus efectos debe llegar a ser rutinaria.

Durante años recientes, se ha establecido una metodología para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana ante frentes fríos y nortes (SIAT-FFyN), además de haber realizado una climatología basada en datos proporcionados por el modelo *North American Mesoscale Model* (NAM), los cuales nos ayudan a determinar valores umbrales de temperatura mínima, precipitación y viento, asociados al paso de frentes fríos y nortes sobre la república mexicana.

Resultados

Fueron elaborados programas de cómputo que realizan las labores de descarga de la información del modelo meteorológico NAM, extraen los datos de las variables requeridas y detectan de manera automática condiciones meteorológicas que se encuentren por fuera de los valores umbrales calculados en la parte de la climatología.

Dentro del SIAT-FFyN, se elaboró un sistema automático que genera mapas en los formatos *gif* y *shape*, desplegando las

áreas de alertamiento en tiempo real. Con la elaboración automática de mapas de alertamiento por frentes fríos y nortes en un equipo de cómputo que funciona en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), se tiene una importante herramienta preventiva para la toma de decisiones ante la llegada de fenómenos invernales y así mitigar las afectaciones en la población.

El presente documento describe los mapas generados con este Sistema y el modo de interpretarlos.

Niveles de alertamiento

El SIAT-FFyN para temperaturas bajas emite alertamientos sólo cuando los sistemas atmosféricos producen temperaturas por debajo de un valor umbral determinado, evaluado por el pronóstico del modelo meteorológico NAM, cuyo espaciamiento entre dos puntos de malla es de 32 km. Los valores de este umbral se definen localmente para cada punto de malla, como aquellos valores por debajo de la temperatura mí-

nima promedio desde septiembre de 2010 hasta marzo de 2011, menos un cuarto del valor entre el mínimo mensual promedio y la temperatura extrema más fría del periodo 1° de septiembre de 2010 al 31 de marzo de 2011. El esquema de esta operación es representado en la ilustración 1a.

El SIAT-FFyN emite alertas cuando los vientos se encuentran por arriba de un valor umbral, definido en cada punto de malla como el viento máximo promedio desde septiembre de 2010 hasta marzo de 2011, más un cuarto del valor entre el máximo promedio de viento y el valor extremo de viento en el periodo 1° de septiembre de 2010 al 31 de marzo de 2011. El esquema de esta operación es representado en la ilustración 1b.

En la ilustración 1c se muestra el esquema para determinar el valor umbral de precipitación Z_1 , donde Z_0 es el promedio de precipitación más una desviación estándar desde septiembre 2010 hasta marzo 2011, y Z_6 es el valor extremo de precipitación en el mismo periodo.

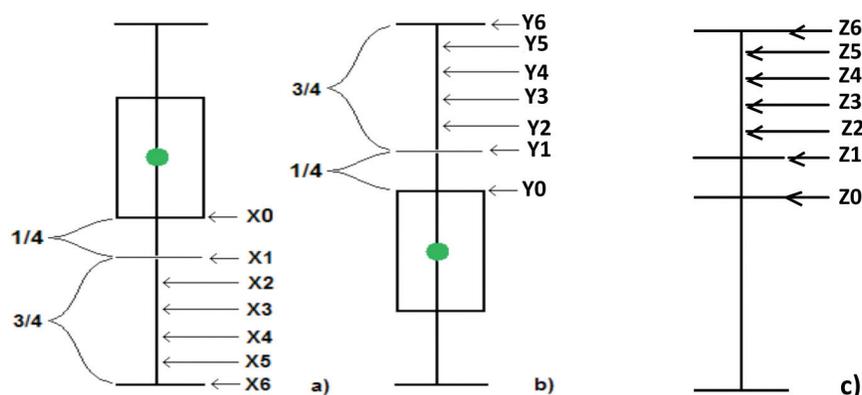


Ilustración 1. Determinación de valores umbrales para la emisión de alertas: a) para variable de temperatura, b) para el viento, c) para la precipitación.

Al ser definidos los valores umbrales de las tres variables de interés como valores extremos, una vez que se pronostiquen estos valores o valores menores en el caso de temperatura o mayores en los casos de

viento y precipitación, se sugiere la emisión de alertas preventivas y preparativas, de acuerdo con los tiempos de pronóstico de llegada de dichos umbrales, definidos en la tabla 1.

Tabla 1. Matriz de alertamiento.

Temperatura mínima (°C)	Velocidad del viento (km/h)	Precipitación acumulada en 24 h (mm)	54 a 48 h	48 a 42 h	42 a 36 h	36 a 30 h	30 a 24 h	24 a 18 h	18 a 12 h	12 a 6 h	6 a 0 h
X1 a X2	Y1 a Y2	Z1 a Z2	Blue	Blue	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Red
X2 a X3	Y2 a Y3	Z2 a Z3	Blue	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Red
X3 a X4	Y3 a Y4	Z3 a Z4	Blue	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
X4 a X5	Y4 a Y5	Z4 a Z5	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
X5 a X6	Y5 a Y6	Z5 a Z6	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red	Red
< X6	>Y6	>Z6	Blue	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red	Red

Por ejemplo, para una onda fría que se predice que alcance su mínima temperatura en el intervalo entre X3 y X4, la alerta azul se alcanza a las 54 h antes de la llegada del valor de temperatura mínima, la verde se alcanza 42 h antes, la amarilla a las 30 h antes, la naranja a las

18 h antes, y la roja se alcanza a las 6 h antes.

La tabla 2 muestra el color, los distintos niveles de alertamiento que se despliegan en los mapas y las recomendaciones generales para su atención.

Tabla 2. Color y nivel de alertamiento y recomendaciones. generales.

COLOR, NIVEL DE ALERTAMIENTO Y RECOMENDACIONES GENERALES		
AZUL	PELIGRO MÍNIMO ALERTAMIENTO	Notificar a protección civil dentro de los organismos federal, estatal y municipal.
VERDE	PELIGRO BAJO PREVENSIÓN	Emisión a los medios de comunicación masiva de las medidas que debe tomar la población ante los efectos del frente frío.
AMARILLO	PELIGRO MODERADO PREPARACIÓN	Iniciar operativos de cooperación y preparar albergues.
NARANJA	PELIGRO ALTO ALARMA	Evacuación de las áreas de riesgo y suspensión de actividades.
ROJO	MÁXIMO PELIGRO AFECTACIÓN	Evitar exposición a bajas temperaturas, mantener a la población afectada a salvo.

Cabe recordar que los valores umbrales determinados de este modo son sólo para la época invernal. En el caso de valores umbrales de precipitación para la época de verano, donde regularmente se tienen las mayores precipitaciones, los umbrales se deberán calcular independientemente.

Página web

Se desarrolló una página web para mostrar tanto los resultados del modelo NAM como los mapas de alerta de temperatura, viento y precipitación en forma dinámica y automática. Esta página cuenta con acceso restringido mediante una contraseña y se desarrolló en sistema operativo Windows.

SEGOB **CENAPRED**

Sistema de alerta temprana para frentes fríos y nortes (SIAT-FFyN)

Resultados del modelo NAM | Mapas Alerta | Imagen Satélite | Documentos

Horas de datos de inicio: 00Z

NOTA INFORMATIVA: La información sobre alertas publicada en este sitio está basada en modelos de pronóstico numérico, los cuales pueden diferir de la realidad. El procedimiento para la emisión de estos mapas trabaja de manera experimental y será evaluado y modificado de acuerdo a su funcionamiento ante diversos fenómenos invernales. Los gráficos aquí mostrados son para propósitos informativos, no son recomendaciones ni alertas oficiales.

Alerta de precipitación acumulada en 24h a partir de 06Z 06/mayo/2013

Alerta de Temperatura a partir de 06Z 06/mayo/2013

Alerta de Viento a partir de 06Z 06/mayo/2013

COLOR Y NIVEL DE ALERTAMIENTO	
AZUL	PELIGRO MÍNIMO ALERTAMIENTO
VERDE	PELIGRO BAJO PREVENCIÓN
AMARILLO	PELIGRO MODERADO PREPARACIÓN
NARANJA	PELIGRO ALTO ALARMA
ROJO	MÁXIMO PELIGRO AFECTACIÓN

[Descargar formato shape hora 00Z.rar](#)

[Inicio](#)

Hora del modelo(UTC)	Hora para emisión de alerta		Hora de descarga		Hora de publicación		
	Local(centro.invierno)	UTC	Local(centro.invierno)	UTC	Local(Centro.invierno)	UTC(Cenapred)	
0 + 6	00	03:00	21:00	03:33	21:46	03:45	
6 + 6	06	09:00	03:00	09:45	03:45	09:44	
12 + 6	12	15:00	09:00	15:50	09:50	15:45	
18 + 6	18	21:00	15:00	21:40	15:50	21:44	

Sistema Nacional de Protección Civil **IMTA** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Ilustración. Ejemplo del despliegue de la sección “Mapas de Alerta” del sitio web SIAT-FFyN.

Conclusiones

México presenta una alta vulnerabilidad socioeconómica a eventos meteorológicos extremos como los frentes fríos y nortes. El uso de modelos meteorológicos de escala regional y un sistema objetivo que delimita las áreas de afectación son una herramienta importante en la generación de mapas de alertamiento con la suficiente anticipación a la entrada de estos sistemas. La implementación operativa y automatizada

del Sistema de Alerta Temprana de frentes fríos y nortes permite reducir los tiempos de respuesta del personal dedicado a emitir alertamientos e incrementa la precisión de los mismos. Durante la temporada invernal 2012-2013, se generaron mapas de alertamiento por frentes fríos y nortes, donde se pronosticaron y validaron temperaturas extremas, mostrando una alta confiabilidad en la anticipación de la alerta emitida para aquellas regiones afectadas al paso de los sistemas frontales.

MÉTODO ALTERNATIVO PARA CALCULAR LA RECARGA EN ACUÍFEROS POCO EXPLOTADOS, UTILIZANDO IMÁGENES DE SATÉLITE, MEDICIONES IN SITU Y MODELOS DIGITALES: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

E. Y. Mendoza, A. Balancán, W. Ojeda y M. Medina

Resumen

El estudio se centra en la estimación de la recarga en acuíferos de zonas áridas con explotación reducida, aplicada en el acuífero Rancho Denton, Chihuahua. El valor de la recarga es conceptualizado como la resta entre la evapotranspiración (ET) y la precipitación (P), descartando el escurrimiento superficial (Q) debido a que es una cuenca cerrada. La P se estima utilizando datos de estaciones convencionales, a los que se aplica la técnica de estimación espacio-temporal. La ET se obtiene del análisis de un balance de energía superficial, usando imágenes *Landsat 7*. Para la validación de los resultados se utilizan estimaciones de evapotranspiración real (ET_r) en cultivos de alfalfa, maíz y nogal. El valor de la recarga, correspondiente del agua subterránea (ET_{sub}), se estima en un volumen de 12.72 hm³/año, centrado en zonas bajas, distinguidas por pendientes planas, vegetación halófila, y unidad geológica de aluvi6n.

Introducci6n

El agua subterránea es una fuente para obtener agua dulce, que en el caso de zonas áridas y semiáridas es determinante para su desarrollo, por lo que cuantificarla significa el primer paso para la gesti6n del recurso. La recarga, en su significado más genérico y simple, es el volumen de agua que ingresa al almacenamiento de un acuífero (Simmers, 1997). Cuantificarla requiere de conocer, con antelación, propiedades de acuífero como: la transmisividad, coeficiente de almacenamiento, conductividad, elevaci6n de la carga hidráulica, entre otros, con una resoluci6n suficiente que permita extrapolarla en el espacio y, en algunos casos, en el tiempo.

Los métodos para cuantificar la recarga se clasifican en: a) balance de aguas, donde se plantea la ecuaci6n de balance y la cuantificaci6n individual de cada componente (Conagua, 2000; Dages *et al.*, 2009); la desventaja de los métodos de balance

de aguas radica en los errores asociados al cálculo de cada componente; b) modelos de simulación numérica; son ampliamente utilizados ya que simplifican el funcionamiento hidrogeológico y pueden predecir escenarios distintos (Sanford *et al.*, 2004); c) métodos físicos aplicados en la zona no saturada, para determinar la recarga en el sitio; se basan en medición del descenso de flujos de agua o cambios en el almacenamiento (Coes *et al.*, 2007) y en la zona saturada, basados en la medición de los niveles del agua subterránea y su variación en el tiempo y el espacio, con objeto de determinar el cambio en el almacenamiento (Crosbie *et al.*, 2005); d) métodos con trazadores químicos; cuantifican la recarga e identifican la fuente, proveen de información de la velocidad y tiempo del movimiento de la masa de agua, permitiendo interpretar las redes de flujo, información de la dispersión, etc. (Scanlon *et al.*, 2002), y e) trazadores de calor; se utilizan para inferir la velocidad del agua subterránea y la ventaja de este método es que la temperatura es fácil de medir, de forma precisa, sin la necesidad de tomar muestras de agua (Anderson, 2005). El rango de aplicación de los métodos anteriores considera las escalas: local, menor de 1 m a 1 km; mesoescala, 1-1,000 km y macroescala, mayor de 1,000 km (Healy, 2010).

El método propuesto en el presente trabajo (IMTA-SEBAL) es aplicable en extensiones amplias de terreno (meso y macroescala), en donde es posible considerar que en un tiempo largo existe una equidad entre el volumen de agua que ingresa al acuífero y el que sale de forma natural, por efecto de evapotranspiración (ET) y

flujo base (Q_b). La variable ET se estima mediante un balance de energía superficial, ampliamente conocido como “*Surface Energy Balance Algorithm for Land*” (SEBAL), que permite calcular la evapotranspiración instantánea (ETi).

Zona de estudio

El estado de Chihuahua se caracteriza por presentar un clima de árido a semiárido, donde predominan condiciones de sequedad extrema y cobertura vegetal reducida o casi ausente. Los periodos de lluvias son irregulares, con promedios bastante bajos. El acuífero Rancho Denton se localiza en la porción oeste del estado, cubre una extensión de aproximadamente 2,125.98 km², se delimita entre las coordenadas 27° 50' y 27° 97' de latitud norte, y los 76° 13' y 76° 40' de longitud oeste. Colinda al norte con el acuífero Los Alazanes, al este con los acuíferos Hércules y Laguna del Rey-Sierra Mojada, al oeste con el acuífero Rancho La Gloria y al sur con el acuífero Laguna de Palomas (ilustración 1).

El acuífero Rancho Denton presenta un desarrollo incipiente del aprovechamiento de agua subterránea. La ganadería es una de las principales actividades de desarrollo, seguida de la minería, extracción de sal y, en casos reducidos, la agricultura. Dentro de los límites del acuífero se establece un valle extenso que presenta arroyos intermitentes, de poca importancia, que solamente llevan agua superficial en la época de lluvias. La geología superficial se caracteriza en cinco grupos litológicos: aluviales, arenas y gravas; conglomerados areniscas; calizas, dolomías; margas, limos y arcillas, y otras rocas (ilustración 1).

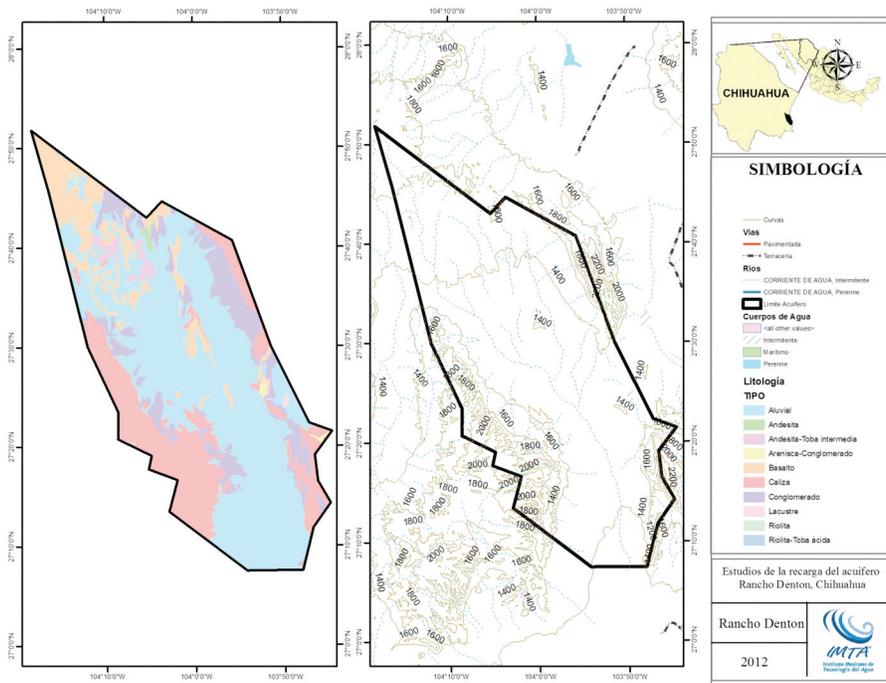


Ilustración 1. Área de estudio: izquierda) geología superficial; derecha) red hidrográfica

Método

La recarga promedio de un acuífero que se encuentra en condiciones estacionarias, se estima como:

$$R = P - ET - Q \quad (1)$$

Donde R = el valor de recarga, P = precipitación, ET = evapotranspiración y Q = escurrimiento superficial (todos en mm/año).

La estimación de la precipitación se realiza mediante un método no sesgado de mínima varianza, que considera la variación espacial y temporal de forma integrada.

$$Z(x,t) = m(x,t) + R(x,t), \quad \forall x \in D, \quad \forall t \in T \quad (2)$$

La estimación de la evapotranspiración se basa en el balance de energía superficial:

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (3)$$

Donde: λET = Flujo de calor latente (energía para evaporar agua); R_n = Radiación neta en la superficie; G = Flujo de calor en el suelo; H = Flujo de calor sensible al aire; λ = Calor latente de vaporización, ET = Evapotranspiración (mm/año).

La calibración considera la estimación de evapotranspiración real (ET_r) utilizando cultivos y la elevación de la vegetación en cada pixel, estimada a partir del valor del índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI, por sus siglas en ingles), que es una medida de la cantidad y vigor

de la vegetación que cubre una superficie de suelo calculado a partir de la imagen de satélite, donde se conocen las condiciones de la vegetación, homogeneidad y altura de la vegetación a la hora del paso del satélite.

El cálculo de la P se utilizan datos de 21 estaciones meteorológicas convencionales, analizando los valores reportados día a día, que posteriormente se utilizan para calcular el valor mensual y finalmente el anual. Los valores estimados de precipitación se calculan utilizando un krigeado re-

sidual de malla regular, con espaciamiento de 30 x 30 metros.

La temperatura mantiene un patrón definido que distingue la época de calor, que inicia en abril y se extiende hasta el mes de octubre (no se muestran los datos en el escrito). La precipitación se distingue por la época de lluvia (mayo-octubre) y la de secas (noviembre-abril, ilustración 2). El valor promedio de Pes es de 312.3 mm/año. El valor promedio acumulado máximo es de 377 mm/año y el mínimo de 225.4 mm/año (ilustración 2).

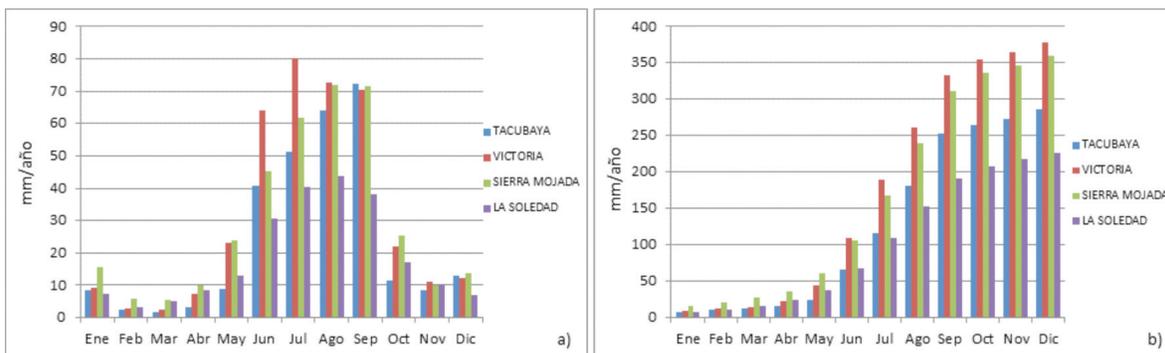


Ilustración 2. Precipitación en estaciones convencionales,
a) histograma de precipitación mensual,
b) histograma de precipitación acumulada en cuatro estaciones meteorológicas.

La ET se estima utilizando el programa IMTA-SEBAL, mismo que realiza un balance de energía superficial para determinar el valor de ET instantáneo (ETi), que posteriormente se extrapola a día, mes y año.

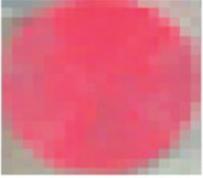
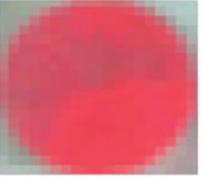
Los resultados de ET obtenidos por el método IMTA-SEBAL son ajustados a las estimaciones de ETr de cultivos establecidos. La ilustración 3 muestra valores de ETr para cultivos de alfalfa. El NDVI indica vegetación verde y densa; los valores entre 0.1 a 0.5 corresponden a una vegetación

escasa (junio, julio, septiembre, octubre y noviembre).

El valor de ET para el acuífero Rancho Denton (ilustración 4) es alto (mayor 10) en las zonas serranas y bajo (0 a 5 mm) en la porción del valle. El valor estimado de ET corresponde a las componentes de evapotranspiración de la zona no saturada (ET_{nsat}), zona saturada (ET_{sub}) y superficial (ET_{sup}), siendo esta última de mínimo impacto en el acuífero debido a que no existen extensiones grandes de

depósitos de agua. Con la finalidad de definir el volumen de ET correspondiente a la componente de agua subterránea, se conceptualiza el modelo de la siguiente manera: en el acuífero no existen entradas y salidas por flujo subterráneo (Q_{ent} , Q_{sal}), no existen aportes verticales por

otros acuíferos (Q_{vert}) y no existe salida por flujo base (Q_{fb}). La recarga al acuífero se realiza de forma directa e indirecta, con componente local y focalizada, siendo esta última la de mayor impacto (cauces de arroyos, depresiones locales, fracturamiento).

Fecha de la imagen	10-ene-11	31-mar-11	02-may-11	19-jun-11
Imagen del mes				
NDVI	0.673	0.760	0.749	0.466
Eto	0.13	0.58	0.71	0.85
Kc (Gdd)	0.73	0.88	0.76	0.65
Etr con estrés	0.09	0.52	0.54	0.55
Kc (NDVI)	1.12	1.15	1.15	0.86
Etr NDVI	0.145	0.673	0.821	0.727
$\Delta Kc's$ (%)	35.090	23.297	34.241	23.778

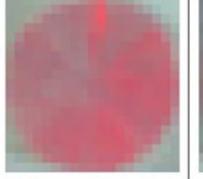
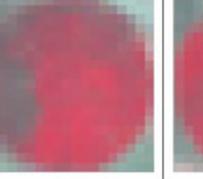
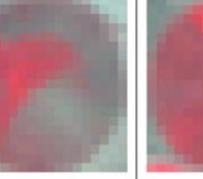
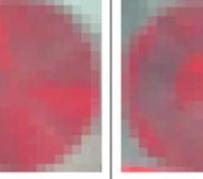
	05-jul-11	22-ago-11	07-sep-11	25-oct-11	10-nov-11
Imagen del mes					
NDVI	0.518	0.650	0.297	0.565	0.423
Eto	0.51	0.48	0.55	0.46	0.25
Kc (Gdd)	0.93	0.79	0.64	0.91	0.72
Etr con estrés	0.47	0.38	0.36	0.42	0.18
Kc (NDVI)	0.95	1.11	0.40	1.02	0.76
Etr NDVI	0.481	0.531	0.222	0.473	0.190
$\Delta Kc's$ (%)	2.581	28.989	59.814	11.065	5.062
$\Delta ETr's$ (%)	2.581	28.989	59.814	11.065	5.062

Ilustración 3. Estimación de ETr en cultivo de alfalfa.

Tomando en cuenta lo anterior, se propone que la componente ET_{sub} se concentre en las zonas bajas y planas (pendiente 0-1), donde existe un nivel freático somero, asociado a una unidad litológica de aluvión

y presencia de vegetación halófila (ilustración 4), localizadas en la porción central del valle. La zonificación permite separar la componente ET_{sub} del resto. El volumen correspondiente es de 12.72 hm³/año.

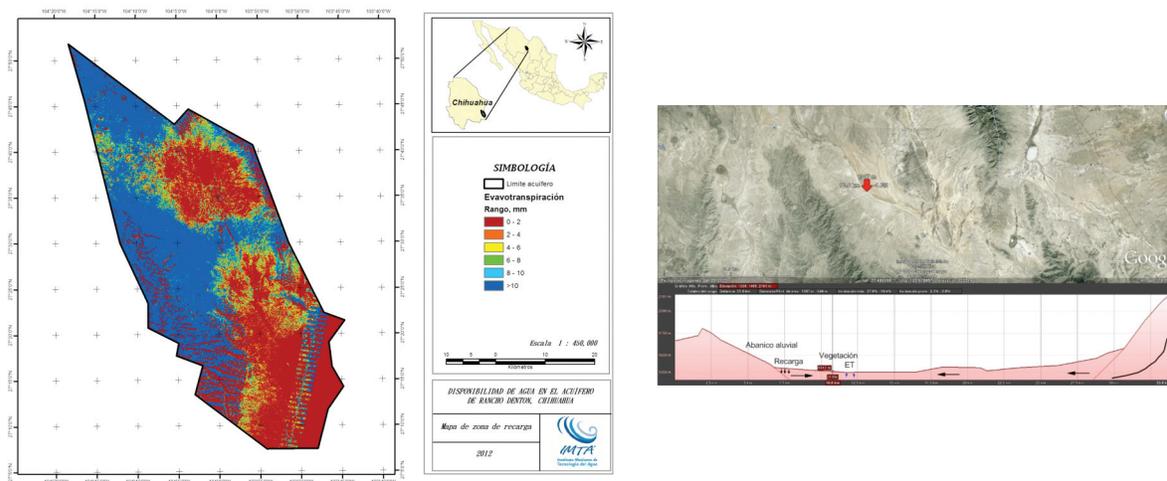


Ilustración 4. Izquierda) evapotranspiración anual; derecha) sección modelo conceptual, Rancho Denton.

Conclusiones

El IMTA-SEBAL se aplica en acuíferos donde prevalecen condiciones estacionales, ya que existe un equilibrio en las entradas (recarga natural, flujo subterráneo horizontal y/o vertical, recarga por retorno de riego y/o infiltración por ríos) y salidas (evapotranspiración, flujo base, flujo horizontal subterráneo, bombeo, manantiales), con rango de aplicación de mesoescala (1-10,000 km²).

Mediante un balance de energía (SEBAL), se estima el valor de ET, la validación requiere de puntos de control en zonas de cultivo y vegetación nativa, que permiten la estimación instantánea, diaria, mensual y anual.

El valor de ET, que pertenece a la componente subterránea, corresponde al volumen calculado en zonas bajas, con pendiente cero, vegetación halófila y aluvión.

El valor de recarga para el acuífero Rancho Denton se estima en 12.72 hm³/año.

Bibliografía

ANDERSON, M. P. Heat as a ground water tracer. *Ground Water*, 43, 2005, pp. 951-968.

CONAGUA. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, 2000.

COES, A. L., SPRUILL, T. B. and THOMAS, M. J. (2007). Multiple-method estimation of recharge rates at diverse locations in the North Carolina Coastal Plain, USA. *Hydrogeol. J.M.*, 15, pp. 773-788.

CROSBIE, R. S., BINNING, P. and KALMA, J. D. (2005). A time series approach to inferring groundwater recharge using the table fluctuation method. *Water Resour. Res.*, 2005, 41, pp. 1-9.

DAGES, C., VOLTZ, M., BSAIBES, A. Estimating the role of a ditch network in groundwater recharge in a Mediterranean catchment using a water balance approach. *J. Hydrol.*, 375, 2009, pp. 498-512.

HEALY, R. W. *Estimating groundwater recharge*. 2nd edition. Cambridge University Press, 2010, 245 pp.

SANFORD, W. E., PLUMMER, L. N., MCADA, D. P., BEXFIELD, L. M. and ANDERHOLM, S. K. Hydrochemical tracers in the

Middle Rio Grande Basin, USA: 2. Calibration of a ground-water flow model. *Hydrogeol. J.*, 12, 2004, pp. 389-407.

SCANLON, B. R., HEALY, R. W., COOK, P. C., Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10:1, 2002, pp. 18-39.

SIMMERS I., HENDRICKX J. M. H., KRUSEMAN, G. P. and RUSHTON, K. R. *Recharge of phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas*. A. A. Balkema, 1997, 277 pp.

PLANEACIÓN REGIONAL PARA LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA EN EL MEDIANO Y LARGO PLAZOS EN LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS

J. Hidalgo, M. Suárez, A. Güitrón, H. Sanvicente y C. Astudillo

Resumen

La desigual disponibilidad del agua en el territorio nacional, la dinámica poblacional, el desarrollo de las actividades económicas, asentamientos urbanos desordenados, la degradación de las cuencas, la sobreexplotación de los acuíferos y los efectos del cambio climático que se reflejan en sequías e inundaciones, constituyen la problemática principal que enfrenta el sector hídrico en México, cuya tendencia a futuro pone en riesgo la sustentabilidad de los recursos hídricos.

Bajo estas consideraciones la Comisión Nacional del Agua (Conagua), conjuntamente con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), llevaron a cabo el estudio *Planificación regional hídrica* con objeto de potenciar los alcances del uso de la metodología de las curvas de costos microeconómicos. Los resultados de este trabajo se plasmaron en los programas Hídricos Regionales y Estatales, donde se contemplan estrategias y líneas de acción dirigidas a resolver la problemática a través de una cartera de proyectos y su respectivo programa de inversiones que, en primera instancia, solventa los problemas

de carácter prioritario, así como los de mediano y largo plazos. Adicionalmente, se generaron los productos estadísticos (tablas, gráficas y mapas) para las publicaciones *Estadísticas del agua en México* y el *Atlas del agua* en sus ediciones 2011 y 2012; además, se desarrolló el sistema informático del Sistema de Información Nacional del Agua (SINA).

Introducción

La necesidad de planear los recursos hídricos se vislumbra como un desafío que plantea una nueva forma de identificar y emprender las acciones de solución. Las directrices que han regido en la administración, uso y cuidado del agua en México han evolucionado ante un entorno dinámico, donde la gestión de los recursos hídricos y sus problemas se vuelven cada vez más complejos por su interacción con el medio ambiente y las sociedades que lo conforman. Por ello, es necesario emprender la búsqueda de un proceso de planificación más flexible, estratégico, participativo y adaptativo.

Bajo este contexto y en cumplimiento de la responsabilidad que le confiere la Ley

de Aguas Nacionales, la Conagua, en colaboración con el IMTA realizó la planificación hídrica, cuyo objetivo es formular los lineamientos, estrategias, acciones y proyectos que respalden la política hídrica de sustentabilidad en el mediano y largo plazos para lograr la visión de la Agenda del Agua 2030 en las regiones Hidrológico-Administrativas, y lograr la visión altamente deseable de contar con: i) ríos limpios, ii) cuencas y acuíferos en equilibrio, iii) cobertura universal y iv) asentamientos

seguros frente a inundaciones catastróficas.

Proceso de planificación

El proceso de planificación consistió básicamente en actualizar las bases de datos, caracterizar y diagnosticar las regiones Hidrológico-Administrativas y los estados y, con base en el modelo del análisis técnico prospectivo, se obtuvo la cartera de proyectos.

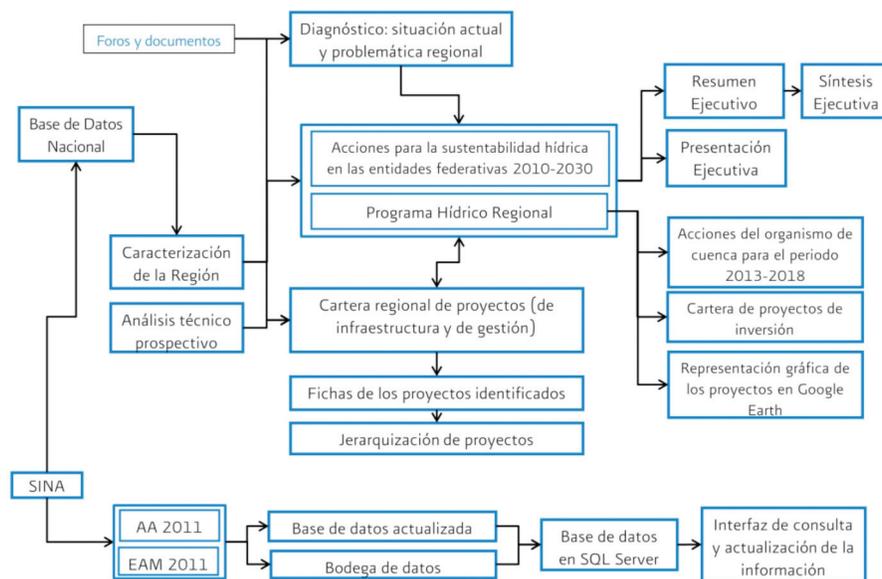


Ilustración 1. Proceso de planificación.

El modelo determinó los retos y posibles soluciones para cada uno de los ejes temáticos de la Agenda del Agua.

La metodología general seguida para el eje cuencas y acuíferos en equilibrio fue determinar el déficit del recurso (brecha) entre la oferta y la demanda. Utilizando el catálogo de acciones (medidas) del modelo

de análisis técnico prospectivo (ATP) y los porcentajes de ahorro del recurso, de penetración de medidas, superficies, población, industrias, consumos, entre otras variables, se obtuvo el costo marginal de las medidas en el periodo actual y proyectado al 2030 a valor presente, con lo cual se generó una curva de costos que establece el cierre de la brecha al periodo proyectado.

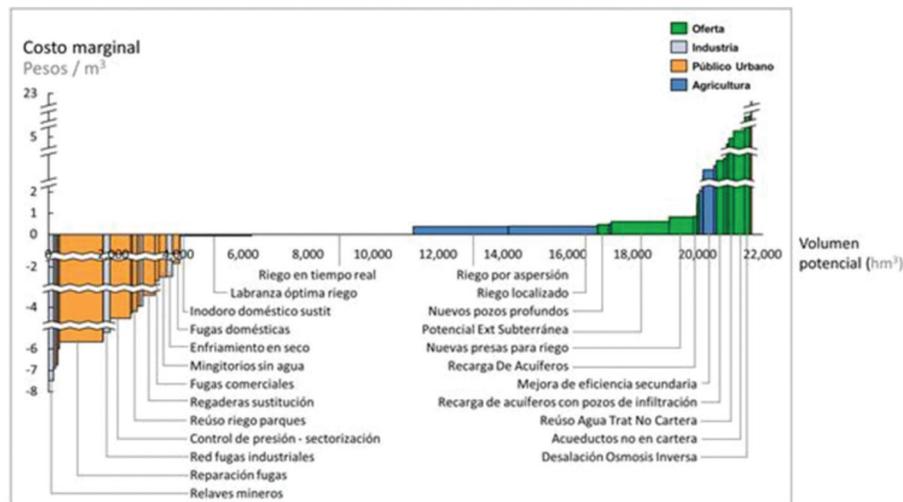


Ilustración 2. Curva de costo.

Para el eje *Ríos limpios* se definieron dos tipos de brechas: volumen a tratar considerando nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y volumen a tratar optimizando las PTAR existentes; para cada componente, se calcularon las inversiones requeridas.

Para el eje *Cobertura universal* se consideró la población actual que no cuenta con agua potable dentro de sus viviendas y la población que no cuenta con drenaje. Bajo supuestos de costos de construcción (red, drenaje, pozos, etc.) se calcularon las inversiones necesarias para que al 2030 se alcance una cobertura al 100 por ciento.

Para el eje *Asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas*, el modelo generó índices que permiten comparar cómo se están planeando las inversiones que mitigan los riesgos de inundaciones con la propensión que tienen distintas regiones del país a este tipo de eventos: índice de inversiones para mitigar inundaciones e índice de impacto de inundaciones.

Resultados

Con el proceso de planificación indicado anteriormente, se caracterizó y diagnosticó cada una de las regiones Hidrológico-Administrativas del país, presentando la situación actual y la problemática existente para establecer las estrategias y objetivos que alcanzarán la sustentabilidad hídrica en la región.

Tomando como base esta información y utilizando los resultados del modelo de análisis técnico prospectivo, se identificaron las acciones necesarias para el cierre de la brecha, las cuales fueron jerarquizadas considerando como prioritarios aquellos proyectos que se encontraban en cartera de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Posteriormente, se programaron las medidas proporcionadas por el modelo con bajo costo y menos obstáculos para su implementación en el periodo de 2011-2030, tomando en cuenta el techo financiero anual establecido para cada región. La estructura financiera propuesta

buscó que el sector fuera autofinanciable o sustentable en el 2030.

Sin embargo, aun con la ejecución de las acciones indicadas en el proceso de planificación presentado, algunas de las células no alcanzaron a cerrar la brecha hídrica.

Trascendencia del trabajo

Este estudio es el resultado más reciente del proceso de planificación hídrica que ha realizado la Conagua y cierra un ciclo de planificación de abajo hacia arriba que da sustento al Programa Nacional Hídrico, lo cual permite superar los retos identificados a fin de lograr un desarrollo sustentable y la gestión integrada de los recursos, y de esta forma garantizar su disponibilidad y calidad para generaciones presentes y futuras, para lo cual se debe seguir trabajando en cuanto a las reformas institucionales y normativas del sector hídrico.

Bibliografía

- Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Programación, 2010.
- _____. *Atlas del agua en México*. México, DF: Conagua, 2009.
- _____. *Agenda del Agua 2030*. México, DF: Conagua.
- _____. *Estadística del agua en México*, México, DF: Conagua, 2010
- _____. *Planes directores CNA-09*. México, DF: Conagua.
- _____. *Programas hídricos estatales*. México, DF: Conagua.
- _____. *Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012*. México, DF: Conagua.

Resumen curricular

Jorge A. Hidalgo Toledo. Maestro en Ciencias por la Universidad de Stanford (1983). Lleva a cabo actividades relacionadas con la planificación de proyectos y la gestión de los recursos hídricos. En la actualidad, imparte la materia Fundamentos de la Gestión Integrada del Agua en la maestría Ciencias del Agua de los programas de Posgrado del IMTA y encabeza la Coordinación de Comunicación, Participación e Información de ese mismo Instituto.

María de los Ángeles Suárez Medina. Maestra en Ingeniería Hidráulica por la UNAM (1995). En la Subcoordinación de Gestión Integrada del Agua del IMTA realiza actividades asociadas con la hidrología y administración de proyectos.

Alberto Güitrón de los Reyes. Ingeniero Civil por la UNAM (1967) y estudios de maestría y doctorado en Administración de Recursos Hidráulicos e Hidrología por la Universidad de Arizona, EUA (1977). Cuenta con treinta años de experiencia en el sector agua de México, donde se ha desempeñado en diversas posiciones tanto en el gobierno federal como en el sector privado. A la fecha, se desempeña como Subcoordinador de Hidrología y Mecánica de Ríos. Ha sido Director General de la revista *Ingeniería Hidráulica en México*, en su segunda época, y actualmente es Vicepresidente del Comité Nacional Mexicano para el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.

Héctor Sanvicente Sánchez. Doctor en Ciencias Computacionales por el ITESM, campus

Morelos (2003). En la Subcoordinación de Gestión Integrada del Agua del IMTA efectúa actividades relacionadas con la modelación y gestión de los recursos hídricos.

Citlalli Astudillo Enríquez. Ingeniera en Sistemas Computacionales por el Institu-

to Tecnológico de Zacatepec (2006). En la Coordinación de Hidrología del IMTA brinda apoyo en el manejo de sistemas de información geográfica, programación, administración de servidores y páginas web.

OFICINA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DEL IMTA

S.R. Reynoso y C. Meneses

Resumen

Durante el proceso de transformación del IMTA en Centro Público de Investigación (CPI), se dieron los primeros pasos para formar una Oficina de Transferencia de Conocimiento (OTC). En 2011 se conformó un primer Programa de Transferencia de Tecnología a través de la Coordinación de Asesores. Ese mismo año se aplicó a una convocatoria de Pre-Certificación para el Programa de Creación y Fortalecimiento de OTC, con apoyo del Fondo Sectorial de Innovación (Finnova) de la Secretaría de Economía y el Conacyt. La propuesta fue aceptada y el proyecto fue iniciado en abril de 2012, concluyendo en octubre de ese mismo año. Como resultados principales, se obtuvieron las propuestas de lineamientos de propiedad intelectual (PI) y conflicto de intereses del IMTA, de rediseño del marco normativo, de revisión de procesos y un plan de negocios.

Introducción

Uno de los motivos principales para esta iniciativa, es que las condiciones actuales para lograr la transferencia de tecnología mediante mecanismos de licenciamiento pueden ser ampliamente mejorados en los centros públicos de investigación (CPI). Parte de la problemática es que ni las instituciones ni su entorno están dise-

ñados para esta causa. En este sentido, el arreglo institucional con las instancias fiscalizadoras y consolidadoras de los CPI obedece más a parámetros de control y fiscalización que dificultan un entorno de colaboración con empresas privadas. Es necesario proponer nuevos modelos que rompan inercias en la administración pública y crear casos de éxito que permitan cambiar los esquemas anteriores y acrediten una nueva manera de colaboración de las instituciones públicas con la industria, y hagan realidad el espíritu de la Ley de Ciencia y Tecnología en el sentido de permitir un trato diferenciado a los CPI y la creación de un ecosistema propicio para la innovación y la creatividad. Además, dentro de los compromisos considerados en el Pacto Por México, se encuentra *incrementar significativamente el número de patentes* (Compromiso 48).

Resultados

Los antecedentes inmediatos y pasos necesarios que se tuvieron que dar para la conformación de una Oficina de Transferencia de Conocimiento (OTC), se encuentran en el proceso de transformación del IMTA en CPI, que se concretó con la Firma del Convenio de Administración por Resultados en junio de 2010. Más adelante se tuvieron que aprobar los lineamientos de vinculación por parte de la Junta de Gobierno del Instituto.

En el plan estratégico del IMTA se indicó la necesidad de impulsar la transferencia de tecnología por medio de mecanismos de licenciamiento, empresas de base tecnológica y alianzas estratégicas. Estas actividades se venían realizando en el Instituto de manera desarticulada y obedecían más bien a iniciativas personales de los especialistas en hidráulica que a una estrategia institucional y sistematizada. Dicha responsabilidad fue conferi-

da a la Coordinación de Asesores en 2011, y entonces se conformó un primer Programa de Transferencia de Tecnología. Ese mismo año la Coordinación de Asesores celebró un seminario interno para diseñar la cadena de valor,¹ los procesos principales y el modelo de desarrollo; esto, basado en la metodología *Business Model Canvas*.² El modelo resultante se presenta de manera resumida en la ilustración 1.

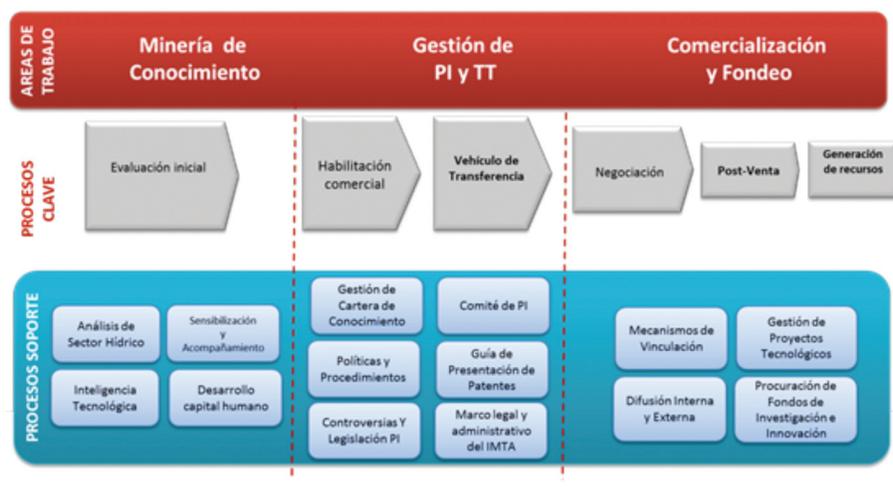


Ilustración 1. Cadena de valor y macropocesos de la OTC del IMTA.

Ese mismo año se aplicó a una convocatoria de Pre-Certificación para el Programa de Creación y Fortalecimiento de OTC, con apoyo del Fondo Sectorial de Innovación (Finnova) de la Secretaría de Economía y el Conacyt. La propuesta del IMTA fue aceptada, el proyecto inició en abril de 2012 y concluyó en octubre de ese mismo año. Como resultados principales se obtuvieron las propuestas de lineamientos de propiedad intelectual (PI) y conflicto de intereses del IMTA, de rediseño del marco

normativo, de revisión de procesos y un plan de negocios.

La misión de esta oficina es: “Promover la transferencia del conocimiento y tecnología desarrollada por el IMTA y sus socios tecnológicos, mediante mecanismos articulados y dinámicos de licenciamiento, creación de empresas de base tecnológica, desarrollo tecnológico conjunto y consultoría, que se traducen en beneficios a la sociedad mexicana.”

1. PORTER, Michael. *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*, 1985.
2. OSTERWALDER y PIGNEUR. *Business Model Generation*. Wiley, 2010.

Uno de los principales beneficios de la creación de una OTC es que rompe el aislamiento entre la industria y los generadores de conocimiento, que son los centros de investigación y universidades. Juega un papel crucial como articulador, ya que conoce las lógicas y dinámicas de cada sector, empresa-academia, habla los dos lenguajes y su objetivo principal es tender esos puentes de colaboración.

Otro beneficio es que obtiene recursos financieros mediante la transferencia de tecnología (TT) vía mecanismos de licenciamiento, creación de empresas y consultoría. Con esto, logra la obtención de recursos que pueden ser destinados a seguir financiando la investigación.

También expande las capacidades del IMTA al asociarse con aliados tecnológicos para fortalecer dos de sus actividades fundamentales: el codesarrollo tecnológico al complementar sus capacidades, y la transferencia de conocimiento y tecnología que, al escalarla, la hace llegar a más usuarios creando así nuevos canales de distribución.

Además, permite que el Instituto concentre sus esfuerzos en el desarrollo de nueva tecnología, una de sus competencias fundamentales,³ para permanecer en el estado de la técnica y conservar su ventaja competitiva.

Otra finalidad que busca la oficina es contribuir al desarrollo económico mediante

la creación de valor en la industria, principalmente por los tres caminos mencionados: impulsar la creación de empresas de base tecnológica (*spin-outs/spin-offs*),⁴ licenciamiento y consultoría. Ello, para cambiar el paradigma que prevalece actualmente de que la ciencia y la tecnología son un gasto, una acción políticamente correcta y un deber del Estado sostenerla sin esperar rentabilidad económica; si acaso, cierta rentabilidad social.

En suma, los beneficios van dirigidos a los actores de la vinculación y transferencia tecnológica, principalmente centros de investigación y empresarios:

- A los centros de investigación les ayuda a descubrir el potencial económico de las invenciones, proveer información de inteligencia tecnológica para direccionar las inversiones en investigación, proteger su propiedad industrial y derechos de autor, valorar económicamente sus activos intangibles protegidos, prospectar a los posibles receptores de la transferencia, crear y negociar los instrumentos de transferencia tecnológica, institucionalizar la colaboración con la industria mediante los mecanismos adecuados y crear modelos de negocios ad hoc a la tecnología y al mercado. Internamente, tanto el IMTA como sus investigadores recibirán beneficios económicos por medio del pago de regalías, lo cual será un incentivo nunca antes obtenido, así como el reconocimiento de la

3. Se trata del término conocido como “core competencias”, creado por C. K. Prahalad y Gary Hamel (1990). The core competence of the corporation. Harvard Business Review. Vol. 68, no. 3, pp. 79–91.

4. Empresas nuevas creadas a partir de tecnología generada en los centros de investigación.

adopción de la tecnología y conocimiento del IMTA en la industria. Más allá, se podrá acreditar un mayor impacto de los trabajos y proyectos del Instituto, en el país.

- A los empresarios, se les crea un mecanismo favorable para tener acceso a tecnología a costo razonable y que pueda potenciar sus negocios y darles ventaja competitiva. Se les provee de un interlocutor que hable su mismo idioma, que tenga la capacidad de adaptación y convivencia en el entorno empresarial y que pueda ser capaz de facilitar el tránsito por las restricciones normativas e institucionales de los CPI. Tener el soporte técnico y de conocimiento de una sólida y reconocida institución como el IMTA: no hay en el país una institución similar que concentre tal masa crítica en materia de agua y con esa capacidad multidisciplinaria. Tener acceso a financiamientos gubernamentales o privados gracias al respaldo de la alianza tecnológica con el Instituto.

Conclusiones y recomendaciones

Es importante que la OTC del IMTA construya su valor diferencial a partir de características únicas que le permitan agregar valor a la tecnología del Instituto por medio de su comercialización y transferencia, haciendo llegar los beneficios de la tecnología a un sector más amplio de la sociedad.

Para lo anterior, cuenta con algunos elementos clave para su desarrollo:

- Prestigio e imagen del IMTA en el sector. Una imagen de solidez, estabilidad, profesionalismo y alta especialización.
- Acceso a infraestructura y capacidades del IMTA para consolidación de algunos de los procesos involucrados en la transferencia tecnológica como: inteligencia tecnológica (Cenca), pruebas y desarrollo de prototipos (11 laboratorios), conocimiento del mercado por su posicionamiento en el sector y la amplia contratación de servicios tecnológicos.
- Redes de contactos personales e institucionales en los ámbitos públicos y privados; un valioso activo en su capital relacional o *networking* en los sector agua, en el sector científico y tecnológico y en la administración pública en general (federal y local). Presencia nacional del IMTA y proyectos en 28 estados de la república.
- Experiencia y casos de éxito concretados, en materia de transferencia de tecnología.
- Alianzas con despachos especializados en materia de propiedad intelectual y transferencia tecnológica, así como con el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI).
- Información estratégica especializada sobre el entorno del sector hídrico.
- Capacidad de sostener ciclos de desarrollo tecnológico y transferencia que, por su naturaleza, son de mediano y largo plazos.
- Una cartera amplia de activos en PI que pueden habilitarse comercialmente con más de 35 activos de propiedad

industrial (diez patentes concedidas, 22 en procesos y tres modelos de utilidad) y más de 218 derechos de autor.

Como recomendaciones generales podemos indicar:

- Formalizar los ajustes normativos en materia de PI y TT, junto con la formalización de políticas específicas para su gestión, así como la creación de la estructura organizacional específica para su ejecución.
- Si bien en el nuevo manual de la organización, publicado el 14 de septiembre de 2012, se refieren las funciones de coordinar los esquemas de transferencia tecnológica y vinculación del Instituto, mediante una OTC por parte del Coordinador de Asesores, en el IMTA es importante crear la entidad específica encargada.
- El IMTA cuenta con un modelo descentralizado para la ejecución de los convenios y contratos de cada área técnica, sin embargo, hace falta un mecanismo articulador que supervise globalmente su desempeño, especialmente en materia de PI.
- Fortalecer las actividades de transferencia de tecnología y/o conocimiento, para que sean más dinámicas.

Bibliografía

ABRAMS, I., LEUNG, G. y Stevens, A. How are US technology transfer offices tasked and motivated-Is it all about the money? *Research Management Review*. Vol. 17, Issue 1, Fall/Winter, 2009.

ASOCIACIÓN MEXICANA DE DIRECTIVOS DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO, A. C. *Oficinas*

de transferencia de tecnología: fundamentos para su formación y operación en México. México: ADIAT, 2010.

CORONA, L. *México: el reto de crear ambientes regionales de innovación*. México: Fondo de Cultura/CIDE, 2005.

CRUZ-CASTRO, L., SANZ-MENÉNDEZ, L. y MARTÍNEZ, C. (2012). Research centers in transition: patterns of convergence and diversity. *Journal of Technology Transformation*, 37, 2012, pp. 18-42.

FUNDACIÓN IDEA, A. C. *La transferencia de conocimiento*. Distrito Federal: Fundación IDEA, A. C., 2011.

HARRISON, S. y SULLIVAN, P. *Edison in the boardroom revisited: how leading companies realize value from their intellectual property*. New Jersey: Wiley, 2012.

HEHER, A. D. Benchmarking of technology transfer offices and what it means for developing countries. In Krattiger, A., *A handbook of best practices*. Oxford: Concept Foundation, 2007, pp. 207-228.

MANDERIEUX, L. *Guía práctica para la creación y la gestión de oficinas de transferencia de tecnología en universidades y centros de investigación de América Latina. El rol de la propiedad intelectual*. Milán: OMPI, 2011.

MOORE G. A. *Crossing the chasm: marketing and selling disruptive products to mainstream consumers*. New York: Harper Collins Publishers, 1991.

OCDE. *Turning science into business: patenting and licensing at public research organizations*. Paris: OCDE, 2003.

SULLIVAN, P. *Rentabilizar el capital intelectual: técnicas para optimizar el valor de la innovación*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós, 2001.

SULLIVAN, P., HARRISON, S. La PI y las empresas: gestionar la PI como un conjunto de activos empresariales. *Revista de la OMPI*, 2008.

Resumen curricular

Sergio Raúl Reynoso López. Ingeniero Industrial y de Sistemas por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. A partir de 2008 es Coordinador de Asesores del IMTA, siendo responsable, entre otros aspectos, de la Planeación Estratégica, la Oficina Institucional de Gestión de Proyectos, el Sistema de Gestión de la Calidad, la Oficina de Transferencia de Conocimiento, el Programa de Cooperación Técnica Internacional y la gestión de información institucional. Además, ha fungido como Prosecretario de la Junta de Gobierno del Instituto y del Comité Externo de Evaluación, y Secretario del Consejo Científico y Tecnológico del Sec-

tor Agua, así como del Comité Técnico del Fideicomiso. Es miembro del Project Management Institute y del Licensing Executive Society (LES).

Carlos Meneses Del Arco. Ingeniero Químico por la Universidad Nacional Autónoma de México y maestro en Sistemas de Información por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Está certificado como Project Management Profesional por el Project Management Institute desde el 2009. A partir del 2010 colabora en la Coordinación de Asesores del IMTA, en la Oficina Institucional de Gestión de Proyectos y en la Oficina de Transferencia de Conocimiento. Es miembro del Project Management Institute.

AGUA SIMPLE, TU REVISTA DIGITAL

M. A. Sánchez, H. Rivas y F. Salinas

Resumen

Desde 2012 el IMTA, con apoyo del Consejo Consultivo del Agua, publica *Agua Simple*, revista digital de divulgación dirigida a jóvenes de secundaria y preparatoria. El objetivo es brindar a los jóvenes una herramienta útil para ampliar sus conocimientos sobre el agua y el medio ambiente, que puede servirles de apoyo en sus estudios formales, así como para introducirlos de una manera entretenida al mundo de la ciencia y la tecnología. El diseño es ad hoc para audiencias jóvenes, donde se combina color con interacción. Se manejan textos cortos, didácticos (lenguaje sencillo), con datos duros y siempre cuidando la verosimilitud de la información. Se invita tanto a expertos de México como del extranjero a colaborar.

Introducción

La misión del IMTA es producir, implantar y diseminar conocimiento, tecnología e innovación para la gestión sustentable del agua en México. Para cumplir con su misión, entre otras actividades, difunde conocimiento científico y tecnológico.

Por su parte, el Consejo Consultivo del Agua, A. C., es un organismo ciudadano,

plural, independiente y sin fines de lucro, constituido en marzo de 2000, que trabaja con líneas de acción que den a conocer la problemática que se enfrenta hoy en México y en el mundo con el tema del agua. Asimismo, lleva a cabo proyectos con los cuales pretende apoyar y enseñar el uso y cuidado del agua.

En ese tenor, ambas instituciones conformaron una revista de divulgación dirigida a jóvenes de secundaria y preparatoria. Dos públicos indirectos para este producto son los maestros y padres de familia.

El objetivo es promover, de forma amena, el conocimiento en materia agua y medio ambiente entre jóvenes de secundaria y preparatoria a través de una revista electrónica de divulgación. ¿Por qué este público en particular? Consideramos que en los jóvenes todavía es posible el cambio de actitud y aptitudes para llevarlos a la acción; en este caso, con una temática cercana a sus intereses, fácil de comprender y útil para su vida diaria.

Resultados

Se hizo el diseño del logotipo, la página y los personajes, y se definieron las distintas secciones (ilustración 1):

CONTACTO BUSCAR:

agua simple

Tu revista digital de agua Núm. 4

En este número: **Agua e industria**

Consejo Consultivo del Agua, A.C. IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

visión agua también es agua empápate mililitros de mí notas de agua sumérgete lluvia de ideas glosario videoteca fototeca curiosidades webcómic

visión agua

TAMBIÉN ES AGUA EMPÁPATE

EL DÍA DE LOS TRÍFIDOS

Industria

Transformación de recursos naturales (o materia prima) a través de diversos procesos, que crea bienes para consumo del ser humano

Te recomendamos leer...

Te recomendamos leer las siguientes obras, en donde el ambiente industrial aparece durante la trama.

Números anteriores digitales

Agua | TAMBIÉN | este | eventos | tiene | nombre, | tienen | anteriores | Artículos | título | huracanes | fijate | vida | ciclones | sección: | Leer | ponerlo | artículos | Consejo | Nacional | impactantes | Sequía | sección | Huracanes, | tantas | cosas | Industria | agua | para | alrededor, | teléfonos | todo | recomendamos | Salud | Martínez |

MILILITROS DE MÍ

NOTAS DE AGUA

Reducir, reutilizar, reciclar = RRR

Las industrias producen cantidades de botellas de pet, cartón, plástico, e innumerables desechos que contaminan ríos, lagos, mares y bosques.

Aguas residuales de la industria textil

La industria textil es considerada como uno de los principales generadores de contaminantes de agua y desechos peligrosos debido a que en el proceso de fabricación incluye diversas etapas que provocan una seria contaminación al medio ambiente (figura 1).

¿Quieres ser editor invitado?

Ilustración 1. Página principal de *Agua simple*.

1. *Visión agua*. Galería fotográfica.
2. *También es agua*. Agua y el tema que se aborde.
3. *Empápate*. Historia, literatura, cine, videos, juegos...
4. *Mililitros de mí*. Textos y videos de y para la comunidad.
5. *Notas de agua*. Información, artículos de profundidad.
6. *Sumérgete*. Entrevistas y reportajes.
7. *Lluvia de ideas*. De todo un poco.
8. *Glosario*. Definición de algunos términos de cada sección.
9. *Videoteca*. Videos de cada número.
10. *Fototeca*. Fotografías de cada número.
11. *Curiosidades*. Hechos asombrosos o curiosos relacionados con el tema.
12. *Webcómic*. Pequeña historieta para compartir e interactuar.

Los textos son breves, en lenguaje sencillo, pero enriquecidos con datos duros. Se busca integrar material gráfico: fotografías, infogramas, cuadros, videos, historietas (ilustraciones 2 y 3).

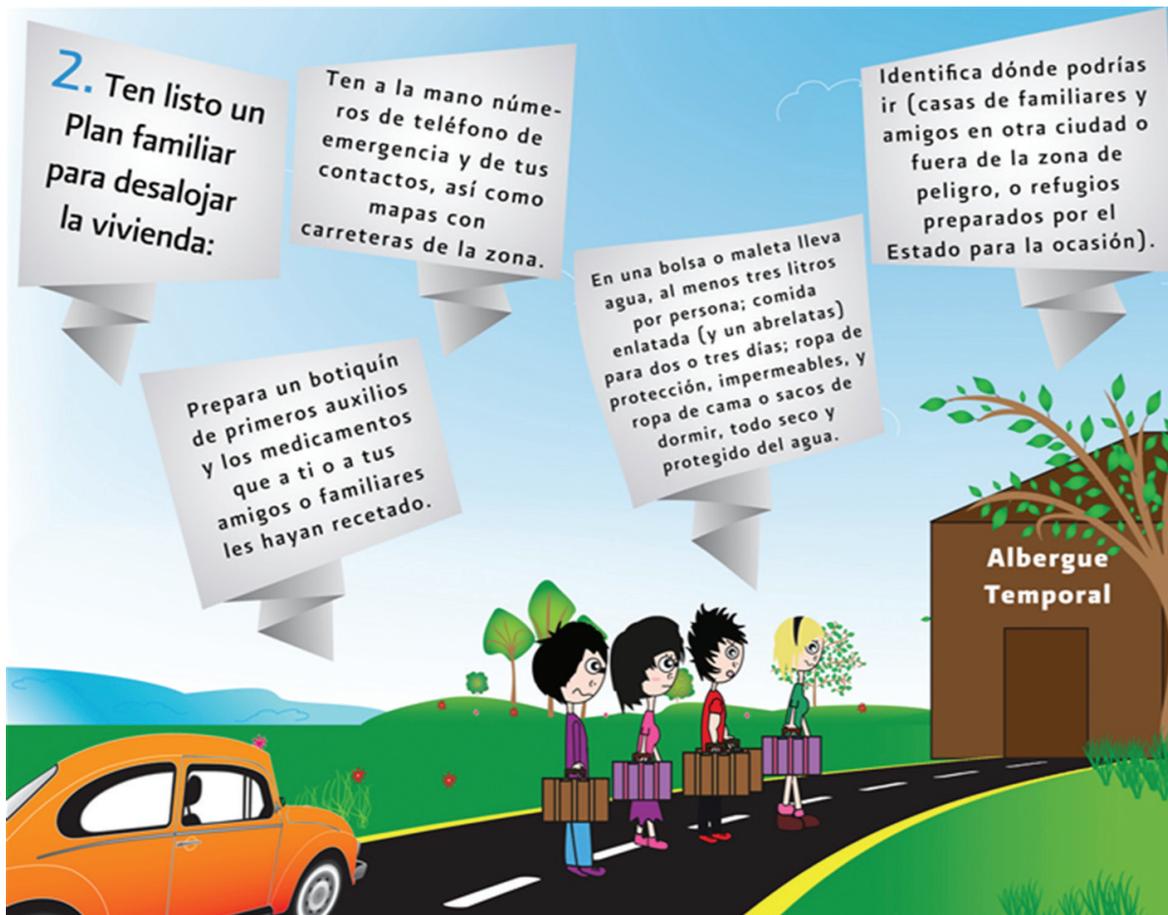


Ilustración 2. Infograma: Qué hacer ante un huracán.



Ilustración 3. Infograma: Cuánta agua debo tomar al día.

Para la información, se recurre a literatura actual, acercamiento con expertos para entrevistas, ligas a artículos y páginas que aborden el tema que se maneja en cada número temático; también, se invita a los jóvenes a participar remitiendo textos, imágenes, fotografías o entrevistando a los expertos.

Hasta el momento, Agua Simple ha abordado tres temas: 1) huracanes, ciclones y tifones, 2) sequía, y 3) agua y salud (ilustraciones 3, 4 y 5), y el trabajo ha sido interdisciplinario, intra y extra institucional.

En cada número, se cuenta con un revisor técnico, quien desde su área de expertise confirma que la información sea veraz. Así, para elaborar Agua Simple, se ha tenido la participación de las siguientes coordinaciones del IMTA: Comunicación, Participación e Información (subcoordinaciones de Vinculación, Comercialización y Servicios Editoriales, y de Difusión y Divulgación); Desarrollo Profesional e Institucional (Subcoordinación de Educación y Cultura del Agua); Coordinación de Hidrología (Subcoordinación de Hidrometeorología); Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua (subcoordinaciones de Potabilización, y de Hidrobiología y Evaluación Ambiental).

Agua simple tiene acceso a Facebook, Twitter y You Tube; su dirección es: <http://www.aguasimple.org.mx>, y el correo electrónico: aguasimple@tlaloc.imta.mx.

También, puede descargarse en teléfonos celulares y *tablets*.

Al mes de abril de 2013 se registraban 10,687 visitas a su página web desde 44 países; 70% de México. Los diez países desde donde se ha tenido más acceso a la página son los siguientes, en orden decreciente: México (7,549 visitas), Colombia (357), Ecuador (352), España (348), Argentina (316), Venezuela (256), El Salvador (238), Perú (193), Estados Unidos (192) y República Dominicana (154). La duración media de permanencia en la página es de tres minutos con 12 segundos.

Conclusiones y recomendaciones

Es esencial fortalecer la presencia de Agua simple en redes sociales, así como lograr vincularla con gran parte de las escuelas de secundaria y preparatoria del país.

Se trabaja en lograr aliados estratégicos entre instituciones del sector agua en México, la Secretaría de Educación Pública, instituciones de educación superior, consejeros institucionales, donadores para proyectos del Consejo Consultivo del Agua y asociaciones de padres de familia.

Se pretende que con el soporte de aliados estratégicos y la venta de espacios publicitarios se obtengan los ingresos necesarios para mantener y hacer crecer esta publicación.

Bibliografía

<http://www.aguasimple.org.mx/>

Resumen curricular

Helena Rivas López. Licenciada en Ciencias de la Comunicación por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Morelos (1989). Cuenta con los créditos de la maestría en Literatura por el Centro de Investigación y Docencia en Humanidades del Estado de Morelos. Tiene 25 años de experiencia en medios de comunicación masiva, especialmente en edición de libros y revistas. Coordinadora editorial de la revista *Tecnología y Ciencias del Agua* y editora de la revista *Agua simple*.

Marco Antonio Sánchez Izquierdo. Licenciado en Ciencias de la Comunicación por la Universidad Autónoma Metropolitana (1988) y maestro en Antropología Social por la Universidad Iberoamericana (2000). Su área de experiencia tiene que ver con medios de comunicación masiva y temas ambientales. Subcoordinador de Vinculación, Comercialización y Servicios Editoriales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Francisco José Salinas Estrada. Licenciado en Ciencias de la Comunicación por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (1983) y maestro en Administración de Empresas por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Cuernavaca (1997). Desarrolla estrategias de difusión utilizando tecnologías de información y comunicación. Subcoordinador de Difusión y Divulgación.

METODOLOGÍA PARA EL FOMENTO DE LA PARTICIPACIÓN SOCIAL Y LA EQUIDAD DE GÉNERO EN COMUNIDADES RURALES Y PERIURBANAS

R. Romero y D. Soares

Resumen

Se presenta una metodología desarrollada para fomentar y fortalecer la participación social de las comunidades en procesos de transferencia y adopción social de tecnologías alternativas de agua y saneamiento. Este trabajo se realizó en el marco del convenio de colaboración que el IMTA tiene con el Programa de las Naciones Unidas ONU-Hábitat, y se aplicó en dos proyectos que buscan mejorar las condiciones de vida de localidades periurbanas y rurales.

Introducción

Datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) indican que, en materia de acceso al agua y saneamiento, México alcanzó desde el 2006 los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Sin embargo, es evidente el rezago que existe en nuestro país, sobre todo en las comunidades marginadas (rurales y periurbanas). Según los datos del INEGI (2011), aún hay 9.5 millones de personas sin acceso al agua y 10.7 millones sin alcantarillado. Si a estas cifras se suman los hogares que no disponen de agua dentro de su vivienda, la cifra llega a 25 millones de personas.

Aunado al déficit en la cobertura de agua potable, existe un deficiente servicio de saneamiento de aguas residuales. En 2009 había 2,029 plantas de tratamiento, que en conjunto tenían la capacidad para tratar apenas el 42% del agua residual recolectada (*Atlas del agua en México, 2011*). No obstante, un gran porcentaje de estos sistemas no trabajan, o lo hacen a medias, debido a un manejo y mantenimiento inadecuado, además de los elevados costos de operación.

El impacto negativo de la falta de estos servicios, tanto en deterioro de la salud como en incremento de la carga de trabajo, afecta diferencialmente a hombres y mujeres. Existen estudios¹ que muestran que ante la falta de agua, la mayor carga de trabajo recae en las mujeres, pues son ellas las encargadas de llevarla a los hogares. Por otro lado, el involucramiento del género femenino en labores de abasto y gestión hídrica, les han generado conocimiento y experiencia en la materia; sin embargo, cuando se construyen los sistemas hidráulicos son excluidas de los procesos de toma de decisiones porque existe el prejuicio de que “lo técnico” es del dominio masculino.

1. (PUMA, 2011), (Soares, 2006).

Resultados

El resultado principal del convenio de colaboración entre ONU- Hábitat y el IMTA fue la elaboración de la *Metodología para la adopción social de tecnologías alternativas de agua y saneamiento*. Ésta es una contribución a la solución de los siguientes problemas: a) insuficiencia de los sistemas centralizados para la cobertura de estos servicios, b) difícil apropiación tecnológica por parte de las comunidades beneficiarias y c) la promoción de la

equidad de género y fortalecimiento de capacidades de las mujeres en procesos de gestión hídrica.

La metodología promueve la utilización de tecnologías alternativas² con objeto de aumentar el acceso a dichos servicios en las comunidades marginadas. Estas opciones ofrecen mejores perspectivas para su implantación, toda vez que utilizan poca (o nula) energía eléctrica, su operación y mantenimiento es fácil, de bajo costo y no requieren de complejos cursos de capacitación.

Ilustración 1. Sistema de tratamiento con humedal.

-
2. Una tecnología alternativa es aquella que ha sido "... adecuada a las condiciones locales, caracterizada por su bajo costo, la no importación de insumos, su pequeña escala, su fácil utilización por la población y su sostenibilidad." SCHUMACHER, E. F. *Small is beautiful: economics as if people mattered: 25 years later...* with commentaries. Hartley & Marks Publishers.

La metodología pretende incentivar y consolidar la participación de las comunidades marginadas. Se trata de hacer visibles y reflexionar sobre los problemas hídricos y sanitarios de la población; analizar colectivamente las alternativas existentes y desarrollar en espacios participativos las capacidades técnicas y sociales que se requieren para operarlas eficiente y sostenidamente. En este proceso, las características de las tecnologías alternativas (bajo costo y fácil operación y mantenimiento), contribuyen a la promoción de procesos de planificación participativa, gestión de proyectos y adopción social, que garantizan la sustentabilidad de las acciones establecidas.

Esta metodología fomenta la participación activa de las mujeres, integrándolas en la constitución de los grupos de trabajo, involucrándolas en todas las actividades y capacitándolas en el manejo de las tecnologías alternativas.

Sintéticamente, el proceso metodológico incluye las siguientes etapas:

1. Elaboración de un diagnóstico socio-técnico de la comunidad y establecimiento de la línea base. Objetivos: a) conocer y analizar las condiciones y problemas específicos de la zona, lo que permite elaborar estrategias eficientes y planes de intervención ad-hoc, y b) generar información relevante sobre la situación antes y después de la intervención, para comparar y evaluar las dos situaciones.

2. Formulación y aplicación de la metodología participativa para la construcción de capacidades en la comunidad y las autoridades. El objetivo es incentivar y fortalecer la participación social, para que los actores locales se apropien del proyecto y asuman compromisos para lograr su sustentabilidad.
3. Selección de las tecnologías hídricas. A partir del conocimiento específico de las condiciones de la zona y de las características de los usuarios, se seleccionan las tecnologías a partir de criterios económicos, sociales y técnicos.
4. Diseño y validación social del proyecto ejecutivo de las tecnologías alternativas.
5. Supervisión de las operaciones de construcción y puesta en marcha de las tecnologías. Con la conformación de un grupo de trabajo comunitario se establece un plan de seguimiento y evaluación de la construcción de las obras.
6. Evaluación del proceso de apropiación tecnológica. La evaluación social continua es una forma de “medir el pulso” a la tecnología, su apropiación y uso.

Esta metodología se aplicó en dos casos específicos.³ El primero se desarrolló en dos colonias periurbanas de Morelos:

3. Ambos proyectos están siendo desarrollados por especialistas de las Subcoordinaciones de Participación Social y Tratamiento de Aguas Residuales.

Aeropuerto en Temixco y Alpuyeca, Xochitepec. Desde 2011 se trabajó en ambas comunidades, pero problemas político-administrativos motivaron la cancelación de las actividades en Temixco. En Alpuyeca continúa ejecutándose el proceso; en 2012 se construyeron las tecnologías propuestas en el Centro de Desarrollo

Comunitario (CDC) de la localidad⁴ y, este año, se conformó el Comité de Operación y Seguimiento, con la participación de pobladores, usuarios y trabajadores del CDC y funcionarios municipales. El objetivo del Comité es garantizar la operación y mantenimiento de las tecnologías y lograr que la comunidad de Alpuyeca se las apropie.

Ilustración 2. Comité de Operación y Mantenimiento del CDC, Alpuyeca.

El segundo proyecto se desarrolla en tres escuelas públicas del Estado de México.⁵ En este caso, se trata de atender los rezagos escolares en infraestructura hidrosanitaria a través del uso de tecnologías descentralizadas y, sobre todo, la con-

formación de una organización escolar que apoye la ejecución de procesos educativos sobre higiene y conservación de los recursos hídricos. Para apoyar este esfuerzo, se elaboraron diversos materiales que promueven la reflexión sobre la

-
4. Se construyó un sistema de captación de agua de lluvia, con dispositivo de rayos ultravioleta para potabilización; un humedal artificial para el tratamiento del agua residual y sistema de riego para el reúso del agua tratada en las áreas verdes del CDC.
 5. Las escuelas seleccionadas fueron: a) Escuela Preparatoria Oficial No. 102 (en Tlalmanalco), b) Escuela Secundaria Técnica Industrial No. 15 (en Ayapango) y c) Escuela Secundaria Técnica Industrial No. 58 (en el Valle de Chalco).

estrecha relación entre la triada: agua, higiene y salud;⁶ con estos se trata de propiciar prácticas sustentables en el uso de los

recursos hídricos y las prácticas de aseo personal que redunden en un ambiente escolar más sano.

Ilustración 3. Entrega de materiales de educación ambiental en escuelas del Estado de México.

En las tres escuelas se han activado procesos de participación social, a través de los cuales se han tomado decisiones importantes sobre los proyectos y se han conformado Comités Escolares. Estas orga-

nizaciones escolares (con la participación del personal docente, administrativo y alumnado), han diseñado e implementado alternativas para mejorar sus condiciones de higiene y salud en los baños y salones.

Ilustración 4. Bitácora de seguimiento del Comité Escolar.

6. Se publicó el Manual Escolar del Agua, la Higiene y la Salud, se instalaron periódicos murales y diversos materiales impresos en las tres escuelas.

Conclusiones y recomendaciones

La metodología de adopción social de tecnologías parte de la premisa que las respuestas meramente técnicas no garantizan la remediación de los problemas hídricos. El reto mayor consiste en involucrar de manera activa a las comunidades en todo el proceso de gestión de las alternativas; los beneficiarios deben participar en la identificación del problema, diseño, construcción, operación y mantenimiento de las soluciones técnicas. Por ello, es prioritario desarrollar enfoques integrales que ofrezcan opciones tecnológicas, activen procesos educativos y fortalezcan las capacidades de los actores involucrados.

Bibliografía

CONAGUA. *Atlas del agua en México*. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGP-18-11.pdf>. 2011. Consultado el 3 de junio de 2013.

_____. *Estadísticas del agua en México*. México: Comisión Nacional del Agua, 2011a.

INEGI. *Censo de población y vivienda 2010*. México: INEGI, 2011.

LÜTHI, C. et al. *Community-Led Urban Environmental Sanitation Planning (CLUES)*. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal

Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2011.

PUMA. *Las políticas del agua en la ciudad de México desde una perspectiva socioambiental*. México: Programa Universitario de Medio Ambiente, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal-Mujer y Medio Ambiente A. C.-Instituto de Investigaciones Sociales, 2011 (no publicado).

SCHUMACHER, E. F. *Small is beautiful: economics as if people mattered: 25 years later... with commentaries*. Hartley & Marks Publishers, 1973.

SOARES, D. y SALAZAR, H. *Mujeres y tecnologías. Aproximaciones desde Chiapas*. México: Semarnat-IMTA-Conacyt-MMA, 2006.

Resumen curricular

Roberto Romero. Maestro en Sociología Política por el Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora. Especialista adscrito a la Subcoordinación de Participación Social del Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.

Denise Soares. Doctora en Antropología por la UNAM. Especialista adscrita a la Subcoordinación de Participación Social del Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.

EL REPOSITORIO COMO INSTRUMENTO QUE MULTIPLICA LA VISIBILIDAD INSTITUCIONAL

P. Navarro y V. Vargas

Resumen

Los objetivos primordiales del *Repositorio institucional IMTA* son, por un lado, difundir de manera más abierta el resultado de las investigaciones que se llevan a cabo en el Instituto y, por el otro, asegurar la preservación de esta producción en un ambiente electrónico en constante evolución. Si bien todavía no ha sido liberado, actualmente el *Repositorio* cuenta con 257 documentos entre artículos publicados en las revistas *Ingeniería Hidráulica en México* y *Tecnología y Ciencias del Agua*, así como libros editados por el IMTA y tesis de los estudiantes del Posgrado IMTA.

Introducción

En el sentido más simple del término, un repositorio institucional es un archivo electrónico que incluye la producción científica de una institución, almacenada en un formato digital, en el que se permite la búsqueda y recuperación para su uso posterior. Desde un punto de vista más conceptual, podemos decir que el repositorio institucional forma un verdadero sistema de gestión de contenidos, ya que, además de los documentos propiamente dichos, el repositorio ofrece a su comuni-

dad un conjunto de servicios para la gestión de esa producción.

Sumado a todo esto, un repositorio institucional facilita la comunicación entre pares, pues el acceso al texto completo de los objetos digitales hace que el repositorio se constituya en una pieza de apoyo fundamental para la investigación y la enseñanza, a la vez que multiplica la visibilidad institucional en la comunidad. De igual manera, permite que la biblioteca asuma un papel más activo en la difusión del conocimiento científico generado por la institución a la cual pertenece.

Tomando en cuenta lo anterior, consideramos que el *Repositorio institucional IMTA* puede ser la ventana que permita difundir la producción intelectual de sus colaboradores, además de posibilitar a nuestra institución estar a la vanguardia en nuestro país en el uso de estas herramientas, ya que actualmente sólo instituciones académicas han creado sus repositorios.

Resultados

Partiendo de que la misión del IMTA es “Producir, implantar y diseminar conocimiento, tecnología e innovación para la

gestión sustentable del agua en México”, a través de proyectos de innovación y desarrollo tecnológico, servicios tecnológicos, formación de recursos humanos y la promoción y difusión del conocimiento del agua,¹ se consideró que un repositorio institucional es una herramienta de gran utilidad, ya que éste, además de crear y compartir conocimiento y facilitar el aprendizaje organizacional permite maximizar la visibilidad de su producción, así como su impacto en la sociedad, incrementar el valor de servicio público de la institución y servir como un indicador tangible de un organismo de calidad.

La metodología que hemos seguido para la implementación del *Repositorio institucional IMTA* ha sido, en una primera instancia, la identificación de otros repositorios de instituciones similares al Instituto, por lo que buscamos en el *Directory of Open Access Repositories* y sólo encontramos el repositorio del Instituto Nacional de Salud Pública, mismo que no podríamos considerar como un repositorio institucional propiamente dicho, pues no refleja solamente la producción de ese organismo.

Posteriormente, se comenzó con la selección de una plataforma que cumpliera con la iniciativa de archivos abiertos y que, además, hiciera posible en un futuro la interrelación con otros repositorios institucionales con características similares. De igual manera, hemos tomado en cuenta que para poder manejar y organizar los contenidos generados por los usuarios debemos contar con procesadores de texto en línea que permiten editar y compartir

documentos. Otros puntos que hemos considerado han sido la personalización de la interfaz, los módulos internos de administración, la arquitectura de la información, etc. En síntesis, ha sido necesario contar con un *software* que proporcione un marco de trabajo y una referencia de implementación detallada que posibilite a los contenidos y a los sistemas utilizarlo para comunicarse con otros sistemas, obteniendo así la interoperabilidad, reutilización, durabilidad y adaptabilidad que se requiere.

Tomando en cuenta todo lo anterior, en 2012 se implementó el repositorio empleando el software libre DSpace, el cual soporta una gran variedad de datos, incluyendo libros, fotografías y videos, entre otros materiales. Durante la primera etapa de la implementación, que terminó en diciembre de 2012, se registraron aproximadamente doscientos artículos de especialistas del IMTA publicados en las revistas *Ingeniería Hidráulica en México* y *Tecnología y Ciencias del Agua*. A abril de 2013, se han incluido 29 libros editados por el Instituto y 26 tesis del Posgrado IMTA. En una próxima etapa, se ha considerado incorporar material audiovisual, así como convencer a los especialistas para que nos permitan incluir sus *preprints*. La intención es que se incluya todo lo publicado por el Instituto; es decir, ir alimentando el repositorio con lo que se vaya generando y con materiales que se han publicado desde los inicios del Instituto.

Cabe aclarar que el *Repositorio institucional IMTA* todavía no está liberado.

1. *Gaceta del IMTA*, número 33, enero 2010.

En cuanto a los derechos de autor, actualmente existen diversas licencias de conocimiento libre, pero por sus particularidades elegimos para el repositorio la de *Creative Commons*, pues proporciona un sustento legal al hecho de que el autor define en qué condiciones ejerce sus derechos de autoría. Es decir, el comúnmente conocido *copyright* indica “todos los derechos reservados”, y *Creative Commons* funciona bajo el esquema de “algunos derechos re-

servados”, creando una convivencia entre el derecho de autor y la libertad creativa, pero al mismo tiempo preserva los derechos de autor ya que se permiten ciertas excepciones. Esta peculiaridad hace de *Creative Commons* una alternativa ideal para proteger los contenidos.

Las siguientes ilustraciones muestran la página inicial de la interfaz (ilustración 1) y el

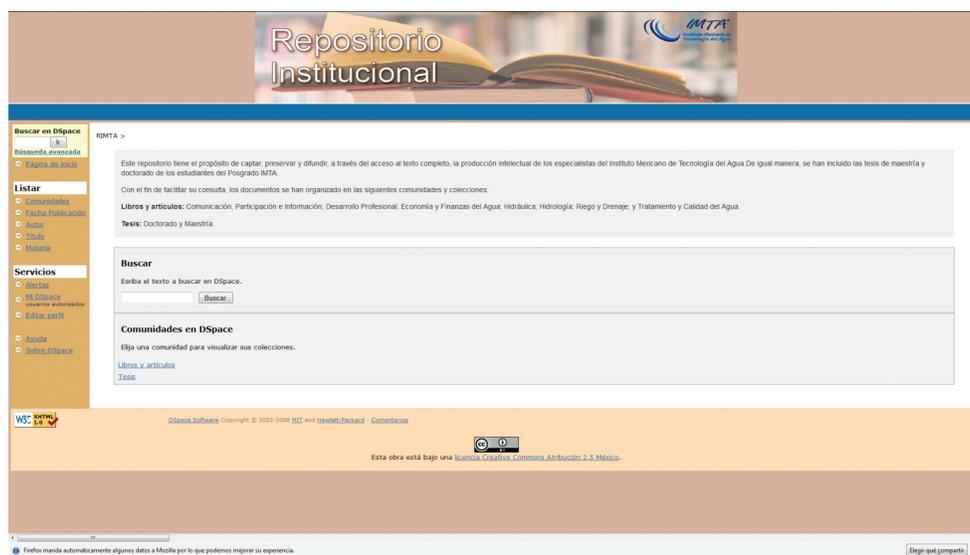


Ilustración 1. Página inicial de la interfaz.

Por favor, use este identificador para citar o enlazar este ítem: <http://hdl.handle.net/123456789/305>

Título : Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses en cascada, cuenca del río San Juan, Querétaro, México

Autor : [Saldaña Fabela, Pilar](#)
[Díaz Pardo, Edmundo](#)
[Gutiérrez Hernández, Altigracia](#)

Palabras clave : Embalses
 Calidad del agua
 Nutrientes
 Descargas
 Río San Juan

Fecha de publicación : 2011

Editorial : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Citación : Tecnología y Ciencias del Agua; Vol. 2, Núm. 3, pp. 115-126

URI : <http://hdl.handle.net/123456789/305>

ISSN : 0187-8336

Aparece en las colecciones: [Tratamiento y Calidad del Agua](#)

Archivos en este ítem:			
Archivo	Descripción	Tamaño	Formato
TCA_005.pdf		1,17 MB	Adobe PDF Visualizar/Abrir

[Mostrar el registro Dublin Core completo del ítem](#)

Los ítems de DSpace están protegidos por copyright, con todos los derechos reservados, a menos que se indique lo contrario.

Ilustración 2. Despliegue de un registro.

Consideraciones finales

Indudablemente, un repositorio institucional para el IMTA es viable y representa una excelente oportunidad para dar a conocer su producción intelectual y, al mismo tiempo, tener un mayor impacto en la sociedad a la que sirve. Empero, sabemos que la implementación de estos nuevos sistemas requiere de sensibilizar y motivar a los usuarios para lograr su potencial dentro de la comunidad en la que se desenvuelven. Habrá que persuadir a la comunidad IMTA para que contribuya con los productos de sus investigaciones, convenciéndola de que los repositorios ayudan a las instituciones a desarrollar métodos coordinados y coherentes para la captura y explotación de sus colecciones intelectuales y que, maximizando la visibilidad de su producción intelectual, se potencia el impacto de la institución. Razón por la cual, también tendremos que considerar el diseño de una campaña de promoción perseverante y significativa que se apoye en una política institucional comprometida. Hemos de comprender que integrándonos en redes más amplias, mediante el empleo de tecnologías interoperables, se retroalimenta la investigación.

Obras consultadas

BARTON, M. R. and WATERS, M. M. *Creating and institutional repository: LEADIRS workbook* [en línea]. Cambridge, MA: MIT Libraries, 2005 [rev. 22 de abril, 2013]. Disponible en <<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/26698>>

BUSTOS GONZÁLEZ, A. et al. *Directrices para la creación de repositorios institucio-*

nales en universidades y organizaciones de educación superior [en línea]. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, [2007] [rev. 22 de abril, 2013]. Disponible en <<http://repository.urosario.edu.co/bitstream/10336/223/1/Directrices.pdf>>

CROW, R. *The case for institutional repositories: A SPARC position paper* [en línea]. Washington, DC: Scholarly Publishing & Academic Resources Coalition, 2002 [rev. 22 de abril, 2013]. Disponible en <<http://scholarship.utm.edu/20/>>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. *Gaceta del IMTA*, 33 [en línea]. Jiutepec, Mor.: IMTA, 2010 [rev. 22 de abril, 2013]. Disponible en

<<http://www.imta.mx/gaceta/anteriores/g33-01-2010/index.html>>

PARADELO LUQUE, A. M. Preservación documental en repositorios institucionales. *Investigación Bibliotecológica*, septiembre-diciembre 2009, Vol. 23, no. 49, 2009, pp. 241-257.

Sitios:

Directory of Open Access Repositories [en línea]. [rev. 22 de abril, 2013]. Disponible en <<http://www.openoar.org/index.html>>

Resumen curricular

Patricia Navarro. Estudió Biblioteconomía en la Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía en la ciudad de México. Actualmente, cursa el cuarto semestre de la maestría en Bibliotecología y Estudios de la Información en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Labora en el Centro de Conocimiento del Agua y sus principales líneas de investigación son

el estudio de usuarios de la información, además del desarrollo de habilidades informativas.

Verónica Vargas. Estudió la maestría en Ciencias de la Administración en la Escuela de Altos Estudios Comerciales, Montreal, Canadá. Posteriormente, hizo la

maestría en Bibliotecología y Estudios de la Información en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Actualmente, labora en el Centro de Conocimiento del Agua y su campo de estudio se centra en los lenguajes controlados para la recuperación de información, y en el desarrollo de habilidades informativas.

EDICIÓN DE LA REVISTA *TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DEL AGUA*

H. Rivas y E. Peña

Resumen

Desde su nacimiento, al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua le ha interesado la difusión del conocimiento. Para lograrlo, ha echado mano a diversas herramientas, entre ellas, la publicación de una revista científica y técnica que retoma la tradición de publicaciones forjadas al interior del sector agua en el ámbito gubernamental, desde la década de 1930. Dicha revista, *Ingeniería Hidráulica en México*, segunda época, cambió su nombre en 2010 para convertirse en *Tecnología y Ciencias del Agua*. Ésta ha evolucionado; de tener tres editores temáticos, ahora cuenta con ocho, ubicados en tres países distintos. La cantidad de trabajos recibidos y sometidos a proceso de arbitraje se ha incrementado y día con día se reciben manuscritos desde distintos puntos del orbe. Así, la publicación se ha vuelto un espacio de participación y voluntad de especialistas en la materia; expertos que colaboran desde sus diversas trincheras como autores, árbitros y editores tanto desde México como del extranjero. Ahora, en la era de la tecnología, el reto es lograr un mayor impacto en la difusión del conocimiento.

Introducción

La revista *Tecnología y Ciencias del Agua* constituye la continuidad de *Irrigación en*

México (1930-1946), *Ingeniería Hidráulica en México* (1947-1971), *Recursos Hidráulicos* (1972-1978) e *Ingeniería Hidráulica en México*, segunda época (1985-2009) (ilustración 1).

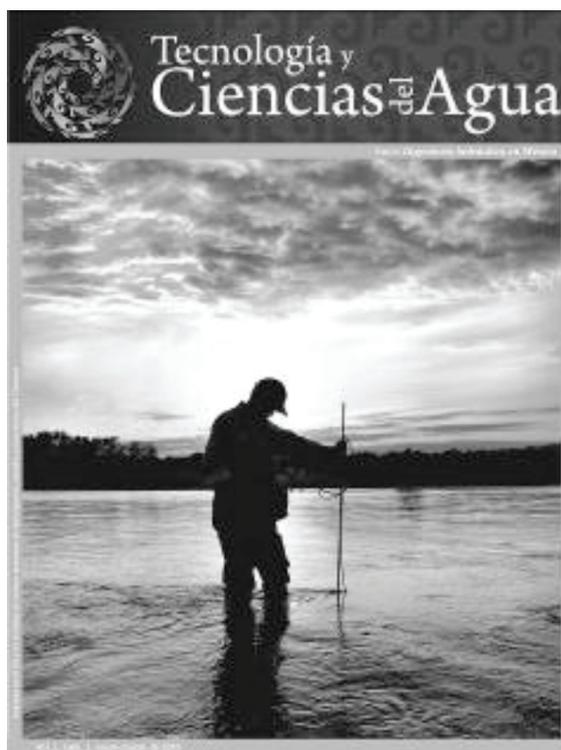


Ilustración 1. Primera portada de *Ingeniería Hidráulica en México*, segunda época.

Nace en 2010 como respuesta a dos aspectos relevantes: el sentido interdisciplinario de sus artículos y notas, así como al

ámbito internacional de sus autores, editores, árbitros y lectores (ilustración 2).

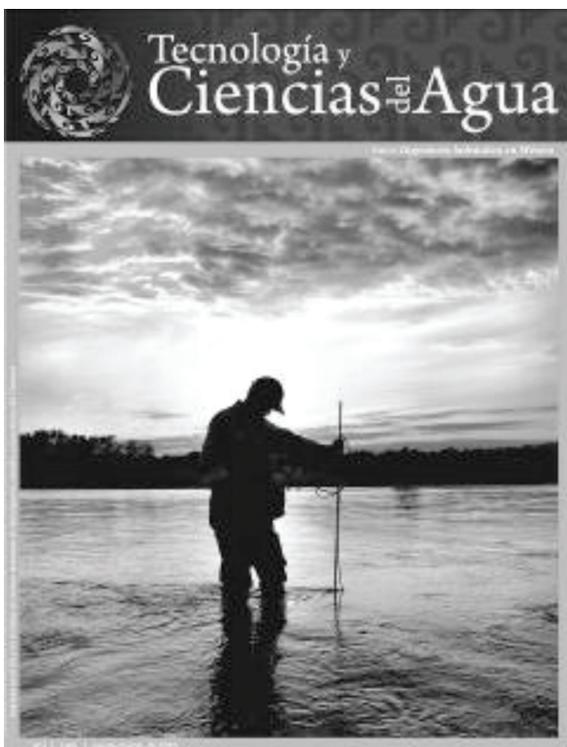


Ilustración 2. Primer número de *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. I, núm. 1, enero-marzo de 2010.

La nueva publicación continúa con el proceso de dictaminación. Su fin último es difundir y promover el uso y la apropiación social de las nuevas y más importantes aportaciones científicas y tecnológicas que enriquecen el conocimiento sobre el recurso agua y su entorno.

Resultados

Tecnología y Ciencias del Agua convoca a investigadores, académicos, especialistas y profesionales interesados en el análisis y búsqueda de conocimientos e innovación

científica y tecnológica, que generan nuevas soluciones a problemas relacionados con el agua en el mundo de habla hispana.

De igual forma, se interesa en trabajos que brindan aportaciones originales desde las diversas perspectivas disciplinarias y que dan cuenta de las complejas dimensiones relacionadas con la gestión, aprovechamiento, uso, explotación, conservación, cuidado y conocimiento del agua, y demás recursos naturales asociados, como suelo y bosque.

Cuenta con el documento *Política y gestión editorial*, donde se abordan los objetivos, misión, gestión editorial, funciones y atributos de los miembros del Consejo y del Comité Editorial, población objetivo, autores, proceso de arbitraje, cobertura temática, principios y valores de la publicación.

Su Consejo Editorial se conforma por un editor en jefe, ocho editores temáticos (que residen en México, España y Francia) y un secretario técnico.

El Comité Editorial está integrado por 64 expertos de 13 países: Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Cuba, España, Estados Unidos, México, Perú, Portugal, Uruguay y Venezuela.

Tecnología y Ciencias del Agua, hoy día, utiliza tecnologías de información y comunicación (TIC) para ayudar a difundir sus artículos.

La edición de la revista implica cuatro etapas: proceso de arbitraje, edición, distribución y comercialización.

De 345 artículos recibidos desde 2010 para arbitraje, se rechazaron 67 (19%) y están proceso 278 en diferentes etapas. Las tres áreas temáticas con mayor carga de trabajos son hidrología (79), hidráulica (62) y gestión del agua (59); seguidas por calidad del agua (36), ciencias hidroagrícolas (20), ciencias políticas y sociales (11), agua y energía (7), e innovación científica y tecnológica (4).

Su base de datos registra 1,161 autores-revisores de 25 países de 295 instituciones.

Una muestra de las instituciones de donde provienen los árbitros de la revista son las siguientes: Universität Hohenheim (Alemania); Moscow State University (Rusia); King Fahd University of Petroleum and Minerals (Arabia Saudita); Instituto Nacional del Agua, Universidad Nacional de Mar del Plata, Universidad de Antioquia, Universidad de Buenos Aires (Argentina); Universidade do Rio Grande do Norte (Brasil); University of Waterloo (Canadá); Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Talca (Chile); Universidad de Antioquia (Colombia); Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cuba); Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador); Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (El Salvador); Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Politécnica de Madrid (España); Massachusetts Institute of Technology (Estados Unidos); Institute de Recherche pour le Développement (Francia); Instituto Nacional de Investigación en Medio Ambiente (India); Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos (Italia); Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Politécnico Nacional (México); Autoridad Nacional del Ambiente (Pana-

má); Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú; The Szwedowski Institute of Fluid-Flow Machinery (Polonia); Universidade do Minho (Portugal); University of Plymouth (Reino Unido); Universidad de la República (Uruguay); Universidad de Los Andes (Venezuela).

Durante el periodo 2010-2012 se remitieron 5,690 artículos en PDF, texto completo, a personas que solicitaron el material desde más de veinte países: Alemania, Argentina, Australia, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, España, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, Italia, México, Nicaragua, Panamá, Perú, República Dominicana, Venezuela.

Del primer número, enero-marzo de 2010, al correspondiente a abril-junio de 2013, se publicaron 165 trabajos de autores provenientes de diversos países: Alemania, Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, España, Estados Unidos, Francia, India, México, Perú, Reino Unido, Uruguay y Venezuela.

Durante 2012 se contabilizaron 63,581 visitas a su página web. Los diez países desde donde se tiene un mayor número de visitas (en orden decreciente) son: México, Colombia, Perú, España, Venezuela, Argentina, Chile, Ecuador, Bolivia y Estados Unidos. Porcentaje de visitas desde México, 46%; porcentaje de visitas desde el extranjero, 54 por ciento. De enero a abril de 2013 se tienen 23,810 visitas.

Se cuenta con la versión impresa (ISSN 0187-8336) y la digital (ISSN 2007-2422).

Está registrada en diversos índices y resúmenes (abstracts) nacionales e interna-

cionales, entre ellos: ProQuest, EBSCO y el Thomson Reuters Science Citation Index® (ISI) y Expanded Thomson Reuters Research Alert® (ISI).

Se ha decidido adoptar la modalidad de Open Access para la versión digital, lo cual permitirá incorporarse a otros índices, como la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) y la Scientific Electronic Library Online (Scielo), México.

Este año comienza a operar el *Open Journal System*, un sistema de administración y publicación de revistas y documentos periódicos (seriadas) en Internet, diseñado para reducir el tiempo y energías dedicadas al manejo exhaustivo de las tareas que involucra la edición de una publicación seriada; también permite el acceso en texto completo de los documentos publicados.

Conclusiones y recomendaciones

A partir de julio de 2013, la revista se volverá bimestral, a fin de dar respuesta a la gran cantidad de artículos recibidos y aprobados para ser publicados. Se tienen cubiertos, hasta el momento, todo 2013 (julio-agosto de 2013, septiembre-octubre de 2013 y noviembre-diciembre de 2013; doce artículos en promedio por número) y la mitad del número enero-febrero de 2014.

Debe fortalecerse su presencia en índices y base de datos, como *Google académico*, a fin de elevar su factor de impacto.

Tecnología y Ciencias del Agua mantiene el mismo espíritu que sus antecesoras: ser

fuerza de consulta y estudio que permita resolver distintos problemas relacionados con su temática.

Bibliografía

ANAYA Y SORRIBAS, M. Editorial. *Recursos hidráulicos*. Vol. 1, núm. 1, 1972, pp. 16-18.

ANAYA Y SORRIBAS, M. Publicaciones antecesoras de Ingeniería Hidráulica en México en su nueva época. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. 1, núm. 1, septiembre-diciembre de 1985, pp. 9-12.

RIVAS-LÓPEZ, H., SÁNCHEZ-IZQUIERDO, M.A. y PEÑA-MONTIEL, E. Revista *Tecnología y Ciencias del Agua*, heredera de una sólida tradición de conocimiento hídrico. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco, Guerrero, noviembre 2012, Mesa 1, ID 339, p. 296.

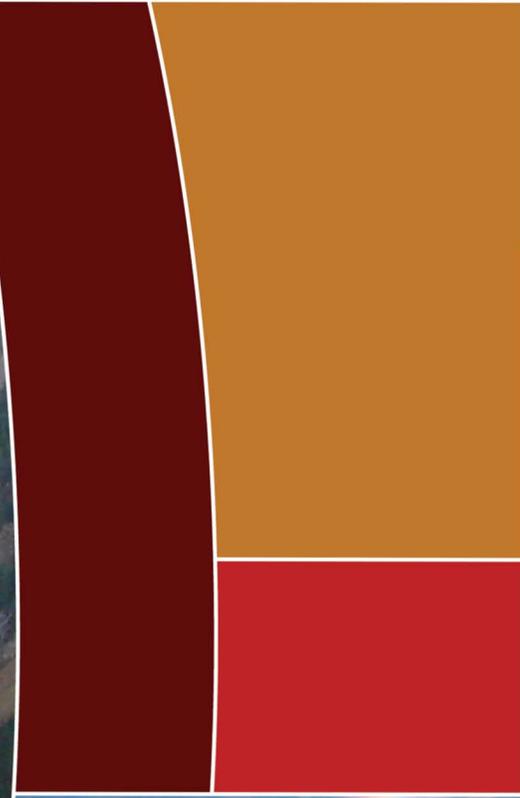
Resumen curricular

Helena Rivas López. Licenciada en Ciencias de la Comunicación por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Morelos (1989). Cuenta con los créditos de la maestría en Literatura por el Centro de Investigación y Docencia en Humanidades del Estado de Morelos. Tiene 25 años de experiencia en medios de comunicación masiva, especialmente en edición de libros y revistas. Coordinadora editorial de la revista *Tecnología y Ciencias del Agua* y editora de la revista *Agua simple*.

Elizabeth Peña Montiel. Licenciada en Informática por la Universidad La Salle (1999). Cuenta con los créditos de la maestría en Sistemas de Calidad por la Universidad Mexicana de Estudios a Distancia. Trabajó para la FAO, apoyando en

la videoteca del IMTA y fue responsable de la misma durante 15 años. También, ha sido auditora y representante del Sistema de Calidad de la Coordinación de Co-

municación, Participación e Información. Actualmente es coordinadora del proceso de arbitraje de la revista Tecnología y Ciencias del Agua.



 **IMTA**
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

